Epistemologie der „strukturellen Intuition“ in der frühneuzeitlich-klassischen Himmelsmechanik

von

Babu Thaliath

Vorwort

Diese Abhandlung entstand im Rahmen meiner aktuellen Post-Doktoranden-Forschung im Bereich der *frühneuzeitlichen Mechanischen Philosophie* am Department of History and Philosophy of Science der University of Cambridge. In meiner vorigen Buchveröffentlichung, mit dem Titel: „Natur und Struktur der Kräfte“ (Verlag Königshausen & Neumann, Würzburg, 2010), habe ich die epistemologischen Grundlagen der Methode der strukturellen Intuition sowie ihre Anwendungsmöglichkeiten in der neuzeitlichen Wissenschaft, insbesondere in der Wissenschaft der Mechanik und Optik, erörtert. Die vorliegende Abhandlung erweitert diese Ergebnisse. Es handelt sich dabei um eine Möglichkeit der Untersuchung, die die Methode der strukturellen Intuition bietet, die von Newton und anderen Wissenschaftlern in der Frühneuzeit etablierte geometrisch-mathematische Axiomatisierung der himmelsmechanischen Grundsätze und ihre Legitimität erneut zu problematisieren. Die strukturelle Intuition als ein epistemologisches Instrumentarium würde tendenziell die geometrisch-mathematische Formhaftigkeit der mechanischen Axiome abbauen und jene axiomatische Letztbegründung in der Wissenschaft der Mechanik auf ihre bloß phänomenale Basis *intuitiv* zurückversetzen.

Ausgelöst wurde die Forschung über die Methode der strukturellen Intuition durch einen am 16. Dezember 2002 von Prof. Dr. Martin Kemp gehaltenen Vortrag mit dem Titel *Structural Intuitions in Art and Science*, der im Rahmen einer von der Hubert Burda-Stiftung mitveranstalteten Vorlesungsreihe an der Ludwig-Maximilians-Universität München mit dem übergeordneten Thema *Iconic Turn* stattfand. Herrn Prof. Kemp danke ich herzlich für die freundliche Unterstützung dieses Forschungsprojekts, die bei gelegentlichen Gesprächen im Institut *Centre for Visual Studies* an der Universität Oxford und bei Korrespondenzen zum Ausdruck kam. Mit den Betreuern meiner Dissertation, Herrn Prof. Dr. Klaus Jacobi und Herrn Prof. Dr. Gottfried Boehm, konnte ich während der Promotionszeit in Freiburg und danach theoretische Grundlagen dieser Untersuchung eingehend diskutieren. Ihnen möchte ich für ihr aktives Interesse sowie für ihre Unterstützung der interdisziplinären Erweiterung dieser Arbeit meinen innigen Dank aussprechen.

Meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. Dominik Perler, Inhaber des Lehrstuhls für theoretische Philosophie an der Humboldt Universität zu Berlin, bin ich für die beständige Förderung meiner Studien sehr dankbar. Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. John Forrester und Herrn Prof. Dr. Hasok Chang für die freundliche Unterstützung meiner Forschung in Cambridge. Ich danke außerdem Frau Dr. Petra Stefanie Vogler für ihr aktives Interesse an den Fortschritten

meiner Arbeit und für die Korrektur dieser Abhandlung. Sehr zu Dank verpflichtet bin ich auch der Gerda Henkel Stiftung Düsseldorf, die meine gegenwärtige Arbeit in Berlin und Cambridge mit einem Forschungsstipendium unterstützt.

Cambridge, im Februar 2012 Babu Thaliath

Die *intuitive* Erkenntnis

In der Wissenschaft der frühneuzeitlichen Himmelsmechanik wurde die geometrisch-mathematische Beweisbarkeit oder Demonstration der himmelsmechanischen Phänomene für den absoluten Maßstab ihrer Wahrhaftigkeit, Gewissheit und Universalität gehalten. Die mathematischen Demonstrationen der himmelsmechanischen Phänomene waren offensichtlich deduktive Verfahren, welche die axiomatischen Grundvorstellungen der klassischen Geometrie und Mechanik als Basis hatte. Die historische Legitimität der *Principia* von Newton – vor allem gegenüber der Keplerschen Himmelsphysik – bezieht sich in erster Linie auf die vollkommen geometrisch-mathematische Methodologie, anhand derer Newton die ursprünglich von Kepler oder Hooke vorgestellten himmelsmechanischen Phänomene wie Flächensatz der planetarischen Bewegung, Elliptizität der Planetenbahnen sowie das Inverse-Square Law der Gravitation mathematisch demonstrierte. Bei den Prioritätsstreiten über seine himmelsmechanischen *Entdeckungen* mit Hooke erhob Newton den Anspruch auf die Authentizität seiner mathematischen Demonstrationen gegenüber den eher intuitiven Vorstellungen von Kepler und Hooke, die er allesamt für bloße Vermutungen zu betrachten und sogar herabzusetzen neigte.[1]

Allerdings ergeben sich die Grundformen und -prinzipien der Geometrie und Mechanik *primär* nicht deduktiv, sondern intuitiv bzw. in einer *visuellen Intuition* a priori, deren Wahrhaftigkeit und Phänomenalität uns apodiktisch gewiss vorkommen. Zum Beispiel werden die Grundsätze der Geometrie wie die Axiome der Geraden, Fläche, des Kreises sowie die der Mechanik wie das Axiom der Trägheitsbewegung, auf denen die gesamte Wissenschaft der Klassischen Himmelsmechanik aufbaut – nicht *deduktiv demonstriert*, sondern nur intuitiv vorgestellt. Auf diesen intuitiven Ursprung der geometrischen und mechanischen Axiome bezieht sich Kant in seiner Lehre der Apriorität und Apodiktizität der synthetischen Urteile, wie sie in der Mathematik und Mechanik hinreichend dargestellt werden.[2] Nach Kant stützt sich das Subjekt allein auf seine produktive Einbildungskraft, um

[1] Vgl. Cohen, Bernard: Kepler's Century, aus: Kepler. Four Hundred Years, hrsg. von Arthur Beer und Peter Beer, Oxford 1975, S. 17-19.

[2] Bereits in der Einführung zur Kritik der reinen Vernunft und im ersten Teil der Transzendentalen Elementarlehre gibt Kant mehrere Beispiele aus der Geometrie und Mechanik, um die apriorischen Ursprung der Axiome dieser und ähnlicher Wissenschaften zu demonstrieren bzw. sie als synthetische Urteile a priori zu bestimmen und darauf ihre apodiktische Gewissheit zurückzuführen. In der Transzendentalen Ästhetik wurden einige Beispiele aus der Geometrie, wie das Axiom der Geraden, wiederholt gegeben, um Raum als reine Form a priori zu begründen. Vgl. Kant, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft, hrsg. von Raymund Schmidt, Hamburg 1990, S. 67ff.

die Grundformen und -prinzipien dieser Wissenschaften zunächst zu *erzeugen*[3] und deren Phänomenalität – also ihre Aposteriorität – ebenso apriorisch zu vergewissern.

Im Verfahren der mathematisch-deduktiven Demonstrationen, von denen die Wissenschaftler der frühneuzeitlichen Mechanik – insbesondere Newton in *Principia* – Gebrauch machten, wurde allerdings auf die ursprünglichen intuitiven Erkenntnisse der axiomatischen Grundsätze kaum verzichtet. D. h. bei den himmelsmechanischen Deduktionen können die axiomatischen Grundsätze der Geometrie und Mechanik kaum für *bloß gegeben* gehalten werden. Axiomatische Erkenntnisse sind zwar ursprüngliche Ergebnisse der produktiven Intuition und stehen als solche als finale bzw. *verfertigte Produkte* zur Verfügung. Aber im Prozess der Deduktion, welche die axiomatischen Grundsätze als Prämisse hat, werden die Axiome nicht als bloß gegebene bzw. zur Verfügung gestellte finale Produkte behandelt, sondern notwendigerweise in die ihnen immanenten *prozessualen* Intuitionen zurückversetzt. Ein treffendes Beispiel dafür wäre die mathematische Beweisführung des Keplerschen Flächensatzes in Newtons *Principia*. Bei der geometrisch-mathematischen Deduktion dieses himmelsmechanischen Prinzips geht Newton von einigen geometrischen und mathematischen Grundsätzen aus, nämlich dem Gesetz der Trägheitsbewegung, dem Parallelogramm-Gesetz der Kräfte, dem Flächensatz des Dreiecks und dem Prinzip der Infinitesimalrechnung. Allen diesen Grundsätzen liegt das geometrische Axiom der Gerade zugrunde. Während das Gesetz der Trägheitsbewegung und das Parallelogramm-Gesetz der vektoriellen Kräfte (bzw. der zentripetalen Gravitationskraft und der dem Himmelskörper immanenten linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz) sich als bloß intuitive und demnach ursprünglich-axiomatische Erkenntnisse erweisen, die sich als solche *deduktiv* auf eine noch tiefere Erkenntnisbasis nicht zurückführen lassen, bildet der Flächensatz des Dreiecks offensichtlich eine deduzierte Erkenntnis, also eine Erkenntnis, die wir intuitiv kaum vorstellen, sondern erst in einem mathematisch-deduktiven Verfahren ableiten können. In dieser Weise basiert jedes mathematisch-deduktive Verfahren zur Beweisführung der himmelsmechanischen Phänomene sowohl auf bloß intuitiv-axiomatischen als auch auf deduktiven Grundsätzen der Geometrie und Mechanik. Hier ist wichtig anzumerken, dass die Erzeugung der Kurve in diesen geometrisch-mathematischen Deduktionen des Flächensatzes aus dem Prinzip der Infinitesimalrechnung bei Newton ursprünglich eine visuelle Intuition war, nämlich eine in der produktiven Einbildungskraft erzeugte unendliche Teilung des Dreiecks – anhand der unendlichen Teilung der Base des Dreiecks, woraus sich die Kurve ergibt. Die *kontinuierliche*

[3] Ebd. S. 218.

Bewegung der Planeten auf einer Kurve wird hier letztendlich auf die unendliche Teilung der im Grunde diskreten Basen der Dreiecke *versetzt*, was die Geometrisierung des mechanischen Flächensatzes der *kurvigen* Planetenbewegung unvermeidlich voraussetzte.

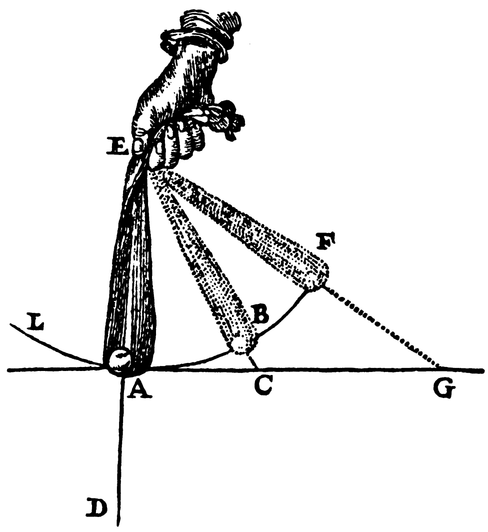
Intuitive Erkenntnisse in der Wissenschaft der Geometrie und Mechanik sind zugleich ursprünglich und final; d. h. ihre Ursprünglichkeit setzt eine epistemologische Finalität bzw. Irreduzibilität voraus. Das Axiom der Gerade als die kürzeste Strecke zwischen zwei Punkten (im Euklidischen Raum) sowie das Prinzip der *linearen* und *gleichförmigen* Trägheitsbewegung lassen sich unmittelbar vorstellen, indem das Axiomatische an der geometrischen Formhaftigkeit und der mechanischen Phänomenalität in seiner Finalität erkannt werden. Dies wird uns einleuchten, wenn wir das tatsächliche Verfahren des Erkennens in derartigen Intuitionen erneut prüfen. Um die Wahrhaftigkeit, Allgemeinheit und auch Apodiktizität des Axioms der Gerade zu *erkennen*, müssen wir uns eine gerade Linie in einem Euklidischen Freiraum vorstellen bzw. in unserer produktiven Einbildung erzeugen. An der Form der bloß *visualisierten* Gerade *erkennen* wir, dass sie die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten *bildet*, indem sie eine finale bzw. irreduzible Geradheit als Quale hat. Diese und ähnliche Intuitionen sind in erster Linie *visuelle Erkenntnisse*, zu denen die begrifflichen Attribute wie gerade oder kürzeste hinzugefügt werden. Das rein intuitive Erkennen des Axioms der Gerade kann prozessual umstrukturiert werden. Wir stellen uns zunächst eine Kurve in einem Euklidischen Freiraum vor und versuchen sie zu begradigen. In diesem intuitiven Prozess erlangen wir eine gerade Linie als finale und irreduzible Form, die sich weiter nicht begradigen lässt. Die Begradigung der Kurve zwischen zwei Punkten im Euklidischen Freiraum ist genau der Prozess der Abkürzung der Distanz zwischen diesen Punkten. Die intuitive Erlangung der finalen Form der Gerade (wobei sich dieser Erkenntnisprozess vollendet) bildet den Erkenntnismoment, in dem wir *zur Kenntnis nehmen*, dass die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten nur eine Gerade sein kann, oder dass die Gerade notwendigerweise die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten visuell darstellt. Ebenso lässt sich das Gesetz der Trägheitsbewegung bloß intuitiv *erkennen*. Dieses Newtonsche Gesetz setzt einen idealen Euklidischen Freiraum voraus, der vollkommen frei von der Gravitationskraft und Luftresistenz ist, und in dem die Trägheitsbewegung stattfinden soll. Einen derartigen Freiraum *erfahren* wir nicht auf der Erde; wir müssen uns ihn vorstellen bzw. einbilden. Wenn wir uns in unserer produktiven Einbildung einen Körper im Freiraum vorstellen und ihn – durch einen imaginativen Stoß – in Bewegung setzen, *erkennen* wir, dass der Körper sich *notwendigerweise* geradlinig und gleichförmig bewegt und in diesem dynamischen Zustand verharrt. Die Apriorität und die apodiktische Gewissheit dieser axiomatischen Erkenntnis liegen darin, dass wir uns dieses mechanische Phänomen nicht anders vorstellen können. Ebenso wie die Gerade, die eine geometrisch finale Form bildet, und der demnach eine geometrisch finale Gesetzmäßigkeit zugrunde liegt, stellt die lineare und gleichförmige Trägheitsbewegung eine mechanisch finale Form und Gesetzmäßigkeit[4] zur Schau. Wir können hier annehmen, dass in der Trägheitsbewegung die geometrische Finalität der Gradheit mit der mechanischen Finalität der Gleichförmigkeit der Bewegung *korreliert*.

Die mechanischen Intuitionen basieren auf derartigen Korrelationen zwischen der geometrischen und der mechanischen Finalität ihrer Grundformen und -prinzipien, die *absolut ursprünglich* zustande kommen bzw. sich auf eine weitere geometrische oder mechanische Grundlage nicht reduzieren lassen. Daher können wir bei intuitiv-axiomatischen Erkenntnissen nach keinem deduktiven Beweis suchen. Die intuitiven Erkenntnisse sind *an sich* bzw. bereits in ihrer ursprünglichen epistemologischen Finalität begründet. Bei mathematischer Deduktion in der Klassischen Mechanik verfügten die Wissenschaftler über das Vorhandensein der axiomatischen Grundsätze als Prämissen für jene Beweisführung der Krafts- und Bewegungsstrukturen der himmelsmechanischen Phänomene. Die *epistemologische* Intuition bezieht sich allein auf die axiomatischen Grundsätze der Mechanik, wie das Gesetz der Trägheitsbewegung oder das Parallelogramm-Gesetz der Kräfte. Alle weiteren mathematischen Demonstrationen wurden aus den intuitiv zu erkennenden Axiomen deduziert. Während Intuition ein innerlich-mentaler Prozess ist, bedarf die deduktiv-mathematische Demonstration anscheinend jener äußerlichen Manifestation der geometrisch-mechanischen Formen – als Zeichnung auf dem Papier.

Allerdings wird es uns schwer fallen, die Grenzen der Intuition zu finden und darin den Ursprung der Deduktion zu bestimmen. Denn die Grenzen zwischen Intuition und Deduktion scheinen kaum diskret, sondern durchaus kontinuierlich zu sein. Diese Tatsache wird belegt, wenn wir uns manche deduktive Demonstrationen in der Mechanik auch bloß intuitiv vorstellen können. Gerade in der Dynamik erweist sich die primäre intuitive Bearbeitung der Krafts- und Bewegungsstrukturen als viel klarer und effektiver als ihre *statischen* Demonstrationen im Modus der gezeichneten geometrischen Formen. Die folgende zeichnerische Demonstration von Descartes demonstriert zwar die die tangential-lineare

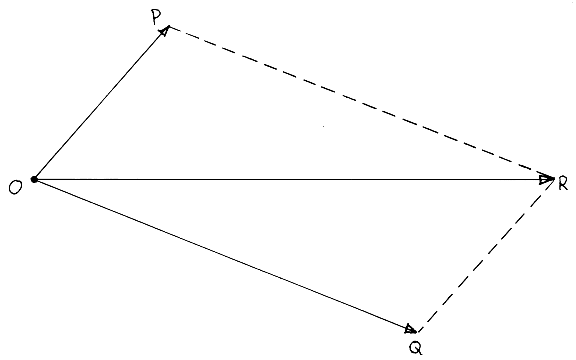
[4] Die *ursprüngliche* Finalität dieser Formen und ihrer Prinzipien lässt sich auch daran erkennen, dass die Quale gerade sich in einer Komparation nicht gradieren. Es gibt keine gerade, die gerader (wenn wir diesen Ausdruck der Komparation, der nicht existiert, sprachlich zulassen) als eine andere Gerade ist; ebenso kann eine gleichförmige Bewegung nicht gleichförmiger als eine andere gleichförmige Bewegung sein.

Trägheitsbewegungstendenz eines sich rotierenden Körpers, aber diese statische Zeichnung – in geometrischen Grundformen des Kreises und der Linie – kann eine dynamische Struktur kaum hinreichend darstellen:



Figur 1

Um die tangential-lineare Trägheitsbewegungstendenz des rotierenden Körpers zu *erkennen*, müssen wir uns diese dynamische Struktur intuitiv vorstellen. Ebenso wie die Bewegung lässt sich die Kraft statisch bzw. geometrisch-vektoriell nur unzureichend repräsentieren, denn auch eine statische Kraft verbirgt in sich ein Potential zur Verursachung dynamischer Bewegungen.[5] Die statisch-geometrische Zeichnung einer Bewegung stellt letztendlich eine bloß diskrete Repräsentation und nicht ihre Phänomenalität dar. Das Parallelogramm-Gesetz der Kräfte ist ursprünglich eine bloß intuitive und als solche axiomatische Erkenntnis, die man beliebig geometrisch darstellt.



Figur 2

[5] Wie die Bewegungstendenz kann die tatsächliche Bewegung erkannt werden, nur wenn sie intuitiv vorgestellt bzw. visualisiert werden.

Die *gezeichneten* Seiten des Parallelogramms OP und OQ sowie der Diagonal OR, der die wirkliche Bewegung des Körpers darstellt, sind geometrisch quantifizierte *Distanzen* der Bewegungen; das wirkliche dynamische Phänomen der Bewegung des Körpers, auf den zugleich zwei verschiedene *vektorielle* Kräfte wirken, lässt sich kaum adäquat in statisch-geometrischen Formen zeichnen, sondern nur subjektiv-intuitiv vorstellen bzw. visualisieren. Die vollkommene Erkenntnis dieses geometrischen Gesetzes basiert daher auf der unmittelbaren Intuition, wobei ihr eine ursprüngliche und irreduzible Korrelation zwischen der geometrischen Formhaftigkeit und der mechanischen Phänomenalität zugrunde liegt.

Dass sich die dynamischen Phänomene nur unzureichend in statisch-geometrischen Formen *zeichnerisch* darstellen lassen, würde den Zweifel aufkommen lassen, ob die Methoden der deduktiven geometrisch-mathematischen Demonstrationen, über die fast alle wissenschaftlichen Abhandlungen der frühneuzeitlichen Klassischen Mechanik verfügten, die Wahrhaftigkeit, Allgemeinheit und Apodiktizität der dynamischen Himmelsstrukturen hinreichend gewährleisten können. Gibt es manche himmelsmechanische Erkenntnisse, die uns nur intuitiv zugänglich sind, und die beim deduktiv-mathematischen Verfahren leicht übersehen werden? Die intuitiven Erkenntnisse der mechanischen Strukturen können zum einen in unmittelbarer Anschauung der irdischen Phänomene und zum anderen in produktiver Einbildung der Himmelsphänomene zustande kommen. Da die mechanischen Phänomene im All – im Vergleich zu denen auf der Erde – in ihrer Totalität nicht unmittelbar zu erfahren sind, benötigen sie die produktive Imagination, in der allein sie bzw. ihre Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit erkannt werden. Allerdings liegen der Erfahrung irdisch-mechanischer Phänomene notwendigerweise die intuitiven Strukturen zugrunde. Denn auch auf der Erde sind die Formkonstellationen und -strukturen der Kräfte in statischen Phänomenen sowie die Krafts- und Bewegungsstrukturen der dynamischen Phänomene freiräumliche Formen und Strukturen und beanspruchen als solche im Vergleich zu der Materialität der Körper – in statischen und dynamischen Zuständen – einen anderen ontologischen Status. Genau genommen sind die Krafts- und Bewegungsstrukturen der irdischen mechanischen Phänomene an sich – im Gegensatz zu der Materialität der statischen und dynamisch bewegenden Körper – *unsichtbar*; sie werden bloß intuitiv bzw. im Modus jener *Visualisierung* wahrgenommen.

Die strukturelle Intuition

Die Intuition oder intuitive Wahrnehmung der irdischen und himmlischen Phänomene latenten mechanischen Strukturen lässt sich als eine strukturelle Intuition bezeichnen. Die

Vorstellung von struktureller Intuition, die sich sowohl auf die statischen als auch auf die dynamischen Strukturen bezieht, wurde im aktuellen wissenschaftlichen Diskurs von Martin Kemp eingeführt. Kemp erörterte seine Grundvorstellung von „structural intuition“ in mehreren Aufsätzen, die in der Zeitschrift *Nature* veröffentlicht wurden, und in einem späteren Vortrag über *Structural Intuitions in Art and Science*.[6] In der Einführung zu seinem Werk *Visualizations*, das eine Sammlung seiner in *Natur* erschienen Aufsätze ist, erörtert Kemp seine Vorstellung von struktureller Intuition. Nach Kemp machen die Visualisierungen, die „acts of seeing“, die strukturellen Intuitionen aus, die sich demnach zu einem Instrumentarium eines primären bzw. vor-logischen visuellen Verständnisses („visual understanding“) entwickelt:

„Looking across the wide range of images in this book, the immediate impression is diversity. But underneath the varied surface run some constant currents in our human quest for visual understanding. The most enduring of these currents is our propensity to articulate acts of seeing through what I am calling ‘structural intuitions’. There is always a danger in offering a compact phrase as a summary of a complex concept, but its deliberately double reading retains openness that works against its becoming too formulaic. It is double in the sense that the ‘structures’ are both those of inner intuitive processes themselves and those of external features whose structures are being intuited.”[7]

Bereits in dieser propädeutischen Betrachtung unterstreicht Kemp zwei Wesenszüge der strukturellen Intuition, die sich in erster Linie auf die Epistemologie dieser Grundvorstellung beziehen: Erstens konstruiert die strukturelle Intuition ein visuelles und als solches ein vor-sprachliches Verständnis, und zweitens impliziert sie die Resonanz zwischen innerlichen intuitiven Prozessen und den äußerlichen phänomenalen Strukturen, die intuitiv wahrgenommen werden. Auf der vor-sprachlichen oder vor-logischen Ebene ist der Verstand durch den Sehakt *unmittelbar* mit der gegenständlichen Präsenz verbunden. Erst mit der abstrakten Begrifflichkeit der Erkenntnis entsteht eine Kluft, also eine Ur-Teilung zwischen dem erkennenden Subjekt und dem erkannten Objekt. Ebenso verweist die Resonanz zwischen den innerlich-intuitiven und äußerlich-phänomenalen Strukturen auf einen Prozess der epistemologischen Intuition, der ein subjektives Hineinschauen in die äußerlichen phänomenalen Strukturen ist, und demnach ihre unmittelbar-sinnliche oder bloß visualisierte (wie im Fall der himmelsmechanischen Intuitionen) Präsenz voraussetzt. In der strukturellen

[6] Kemp hielt diesen Vortrag am 16. Dezember 2002 anlässlich einer Vortragsserie mit dem Rahmenthema *Iconic Turn*, die seit Sommersemester 2002 von Hubert Burda Stiftung an der Ludwigs-Maximilians-Universität München veranstaltet wird. Vgl. dazu: http://netzspannung.org/tele-lectures/series/iconic-turn/. Vgl. auch Kemp, Martin: Wissen in Bildern. Intuitionen in Kunst und Wissenschaft, aus: *Iconic Turn. Die Neue Macht der Bilder*, hrsg. von Christa Maar und Hubert Burda, Köln 2004, S. 382-406.
[7] Kemp, Martin: Visualizations. The nature book of art and science, Oxford 2000, S. 1.

Intuition operiert das Subjekt nicht mit der Begrifflichkeit, die ein vom Phänomenon abgetrennter Seinsmodus ist, sondern ausschließlich mit der Anschaulichkeit, was notwendigerweise das Faktum der unmittelbaren Präsenz der phänomenalen Existenz in der visuell-intuitiven Erkenntnis *unverändert* mit einbezieht.

Bei den erweiternden Betrachtungen weist Kemp auf tiefere Strukturen in unseren perzeptiven Erfahrungen auf, die auf einer vor-begrifflichen Erkenntnisebene operieren. Die allgemeinen Potenzialitäten und Parameters dieser Strukturen bzw. die Gesetze ihrer Anteilnahme an sinnlichen Erfahrungen haben alle Menschen gemeinsam. Durch diese Allgemeinheit, die sich auf das Universal-Subjektive bezieht, erlangt die Lehre der strukturellen Intuition philosophische Legitimität und Kontextualität:

„Every act of perception is necessarily a highly directed and selective affair, whether the guiding principles are conscious or inadvertent. Our view of the realities outside us is structured in relation to existing deposits of perceptual experience, pre-established criteria of interpretation, new and old acts of naming and classification, the physical parameters of our sensory apparatus, and, above all (or underlying all), deep structures operating at a pre- or subverbal level. I subscribe to the view that the general potentialities and parameters of those deep structures (i.e. their rules of engagement with experience) are generally established, while the precise manner in which they are realized, in terms of the laying down of 'hard wiring', is shaped by sensory and other experiences. Some of these sensory experiences, such as our daily visual and tactile engagement with the physical world, are shared by most of human beings, while others are more specific to the particular cultures and even individuals."[8]

Das rein visuelle und haptische *Agieren* mit der physikalischen Welt bestimmt vorrangig die perzeptiven Innenstrukturen, die dann unseren (ebenso perzeptiven) Erfahrungen zugrunde liegen. Sinnliche Perzeption – insbesondere Vision und haptische Erfahrung – verbindet die Menschen unabhängig von all ihren individuellen und kulturspezifischen Unterschieden mit der Umwelt, bevor das sprachlich-begriffliche Verständnis – im Modus eines synthetischen Nexus – zustande kommt. Die Entwicklung der perzeptiven Innenstrukturen erweist sich daher als eine primäre Phase im menschlichen Leben selbst – gegenüber der eher späteren Entwicklung des Sprachvermögens, das einem die begriffliche Erkenntnis der Welt ermöglicht. Kinder haben in ihrer anfänglichen Lebensphase nur einen bloß sinnlich-perzeptiven Zugang zu der Außenwelt, bevor sie die Muttersprache lernen und alles sprachlich zu *begreifen* beginnen. Dieses allererste Engagement mit der Umwelt haben alle Menschen gemeinsam. Denn es basiert zum einen auf der universalen Gesetzmäßigkeit der sinnlichen Perzeption – insbesondere des Sehens und des Tastens – und zum andren auf einer

[8] Ebd.

ebenso universalen Gesetzmäßigkeit der phänomenalen Welt, dargestellt vor allem in ihren geometrischen, mechanischen und optischen *Strukturen*.

Kemp ist der Überzeugung, dass die „shared elements“ bzw. die von allen Menschen allgemein angeeigneten perzeptiven Erfahrungen ihre divergenten Elemente übertreffen, die individuell und kulturspezifisch unterschiedlich erscheinen. Als Beispiel gibt Kemp die Verschiedenheit in der Spielart und -ästhetik der italienischen und englischen Fußballmannschaften. Während die Italiener mit vollem „flair“ und manchmal mit übertriebenem Stil spielen, wird die englische Mannschaft durch deren „athletic vigour“ und „stoic belligerence“ charakterisiert. Abgesehen von solchen kulturspezifischen Unterschieden haben beide Mannschaften die grundlegenden Fähigkeiten, die Bewegungen bzw. die Geschwindigkeit und Position des sich annähernden Balls wahrzunehmen und demgemäß ihre Körperbewegungen – besonders die der Füße – zu orientieren, gemeinsam. D. h. die stilistischen Charakteristiken des Spiels erweisen sich als eher kulturspezifisch, aber die mechanische Gesetzmäßigkeit der Spielbewegungen – des Balls und des Spiels – sowie ihre intuitive Wahrnehmung der *dynamischen Strukturen* des Spiels sind universal. Kemp untersucht die verbindliche Funktion eines epistemologischen Prinzips, das zwischen dem Spiel (des Balls) und den Spielern herrscht. Es ist eine *strukturelle Intuition*, die auf einer stetigen Resonanz zwischen den Strukturen der inner-subjektiven Intuitionen und den wahrgenommenen äußerlich-physikalischen Phänomenen aufbaut:[9]

„I believe (as will already be apparent) that the deep structures of intuition with which we have been endowed by nature and nurture stand in a non-arbitrary relationship to definable elements in the structure and behavior of the physical world. The increasing apparent size of the football as it speeds towards us, and its relationship with foreground and background objects, all tell us something ‘real’. The laws that governs the inertia of the ball and the coefficient of its elasticity may be unknown to most professional footballers, but they have intensively acquired a precise sense of how fast it is arriving and what force is needed to propel it back in the right direction

[9] Offensichtlich handelt es sich hier um ein dynamisches Phänomen, nämlich die Bewegung des Balls und die Körperbewegung der Spieler. Zur Erläuterung der Grundvorstellung der strukturellen Intuition zitieren wir den ersten Teil aus der Einführung zu dem Werk *Visualizations* vollständig. Denn hier allein behandelt Kemp ein dynamisches Phänomen und die wahrnehmungstheoretischen Grundlagen ihrer strukturellen Intuition. Ansonsten beinhaltet das Werk zum großen Teil Fallstudien der statischen Phänomene in der Natur, Wissenschaft, bildenden Kunst sowie Architektur. Die Auswahl dieses Beispiels im Rahmen unserer Untersuchung ist dadurch zu begründen, dass es eine hinreichende Propädeutik zu unserer Untersuchung der dynamischen – insbesondere himmelsdynamischen – Phänomene bildet. Außerdem handelt es sich hier um ein allgemeines Ereignis, das die Einzelheit und Spezifität der Ereignisse in der Natur, Kunst oder Wissenschaft nicht beansprucht. Wir brauchen auch nicht auf alle angegebenen Beispiele einzugehen (die zahlreich und durchaus heterogen sind bzw. sich auf eine große Vielfalt der natürlichen, künstlerischen und wissenschaftlichen Phänomene beziehen). Denn dieses einführende Beispiel stellt die philosophisch-theoretischen Prinzipien der strukturellen Intuition hinreichend dar. Und wir haben in erster Linie vor, aus den allgemeinen Grundlagen dieser Vorstellung ein epistemologisches Instrumentarium zu entwickeln, das wir bei der Untersuchung mancher axiomatischer Grundsätze der klassischen Himmelsmechanik, die sich besonders auf die dynamischen Phänomene beziehen, zu verwenden.

at the desired speed. The structures of the external world within which we need to operate (in matters more urgent than kicking a football) are those with which the internal structure of intuition has been designed to resonate, continuously reinforcing and retuning themselves in a ceaseless dialogue of matching and making."[10]

Die von Kemp vorgestellte Resonanz zwischen den internen bzw. subjektiv-intuitiven und externen-phänomenalen Strukturen, die das Prinzip der strukturellen Intuition ausmacht, ist philosophisch am ehesten der Kantischen *transzendentalen Synthese* analog – vor allem im Rahmen der Transzendentalen Ästhetik, die die Apriorität und Apodiktizität der *synthetischen* Grundsätze der Raumwissenschaften Geometrie und Mechanik lehrt. Der Hauptunterschied zwischen der der strukturellen Intuition immanenten *synthetischen* Resonanz und der transzendentalen Synthese im Kantischen System ist nämlich, dass es bei der strukturellen Intuition nicht um eine begriffliche Synthese, sondern um eine vorbegriffliche *Resonanz* der räumlichen und räumlich-zeitlichen Strukturen geht. Während sich die Synthese im Kantischen System notwendigerweise in der Domäne eines – begrifflich synthetisierenden – Verstandes ereignet, beschränkt sich die strukturelle Intuition auf eine vorbegriffliche und rein ästhetische Domäne der Sinnlichkeit – vorzüglich auf die der visuellen Wahrnehmung. Wenn es bei Kant von einer transzendentalen Einheit der Apperzeption, die unbedingt eine vom Verstand leistende begriffliche Synthese der Erkenntnis (der Gegenstände) kennzeichnet, die Rede ist, verweist die strukturelle Intuition auf eine *transzendentale Einheit der Perzeption*, die die oben erörterte Resonanz zwischen den intuitiv-perzeptiven und äußerlich-phänomenalen Strukturen einverleibt.

Allerdings benötigen die Apriorität und Apodiktizität der geometrischen und mechanischen Strukturen, die Kant in seiner Transzendentalen Ästhetik erörtert, streng genommen keine *begriffliche* Synthese. Denn die geometrischen und mechanischen Grundformen und -strukturen sind *primär* Gegenstände der intuitiven bzw. bloß perzeptiven Erkenntnisse, bevor sie vom Verstand zu begrifflichen Erkenntnissen synthetisiert werden. Sie bedürfen – nach der oben zitierten Betrachtung Kemps – in erster Linie eines visuellen Verstandes, dargestellt in der Anschaulichkeit einer Gerade, der linearen und gleichförmigen Trägheitsbewegung, der dreidimensionalen Struktur des Euklidischen Raumes usw. Die Resonanz der internen und externen Strukturen in dem Beispiel Kemps ereignet sich in der unmittelbaren Anschauung; der Spielraum dieser Resonanz in der strukturellen Intuition ist ein unmittelbar ästhetischer bzw. perzeptiver Sehraum. Die produktive Einbildungskraft, die nach Kant die geometrischen und mechanischen Grundformen und -strukturen apriorisch erzeugen und apodiktisch

[10] Ebd., S. 1-2.

vergewissern kann, bezieht sich offensichtlich auf einen theoretischen bzw. imaginativ erzeugten Raum. Allerdings schließt die strukturelle Intuition die produktive Einbildung nicht aus; sie ist wirksam sowohl in der unmittelbaren Anschauung – wie im Falle der Spielarten wie Fußball oder Cricket – als auch in der produktiven Imagination, die die Phänomenalität der nicht zu erfahrenden Strukturen bestimmt – wie die rein apriorische *Visualisierung* der himmelsmechanischen Strukturen in der Keplerschen und Newtonschen Astronomie. Und gerade in der Intuition himmelsmechanischer Strukturen treten die Apriorität der intuitiven Erkenntnisse und deren Apodiktizität viel deutlicher zutage. Denn die Unmöglichkeit der unmittelbaren Erfahrung himmelsdynamischer Phänomene (von der Erde) setzt die Notwendigkeit ihrer apriorischen Vorstellung in produktiver Einbildungskraft voraus.

Nun untersuchen wir, wie die von Kemp vorgestellte Resonanz zwischen intuitiven und phänomenalen Strukturen, auf der die strukturellen Intuitionen der irdisch- und himmelsmechanischen Strukturen basieren, zustande kommt. Welche philosophischen Prinzipien liegen dieser *synthetischen* Resonanz zugrunde? Als erster Schritt untersuchen wir die Intuition einer einfachen dynamischen Struktur, die eines der allgemeinsten axiomatischen Grundprinzipien der irdischen und überirdischen Mechanik bildet, nämlich die Trägheitsbewegung. Wie vorher erörtert wurde, korreliert in dem dynamischen Phänomen der Trägheitsbewegung eine *finale* geometrische Formhaftigkeit, nämlich die Linearität, mit der ebenso finalen mechanischen Formhaftigkeit, nämlich der Gleichförmigkeit der Bewegung. Die Grundvoraussetzungen für einen idealen Fall der Trägheitsbewegung, nämlich die Existenz eines Körpers in einem *absoluten* Freiraum – ohne die Präsenz jener Kraft wie Gravitation und Luftresistenz – können unter irdischen Umständen nicht realisiert werden; sie bedingen eine Vorstellung bzw. bloße Visualisierung a priori, die nicht anders als eine strukturelle Intuition ist, deren Phänomenalität aber unmittelbar nicht anschaulich ist. Worauf basiert die Apodiktizität einer derartigen strukturellen Intuition, durch die wir von der Phänomenalität einer dynamischen Struktur im All wie der Trägheitsbewegung der Planeten überzeugt werden? Wenn wir in unserer produktiven Einbildungskraft einen absoluten Freiraum (im All) vorstellen, und den Körper, der sich in diesem Freiraum befindet, durch einen *imaginativen Stoß* in Bewegung setzen, können wir die Trägheitsbewegung des Körpers nicht anders vorstellen als eine lineare, gleichförmige und unendliche Fortbewegung. Dass wir dieser intuitiven Erkenntnis phänomenale Realität und Apodiktizität zuschreiben, basiert auf den folgenden Aspekten unserer Intuition und ihrer Gegenstände:

1. Die modale Einheit und Finalität zwischen dem (apriorisch) vorgestellten und phänomenalen Freiraum
2. Die Identität zwischen der vorgestellten und phänomenalen *freiräumlichen* Formhaftigkeit der *geometrischen* Linearität und *mechanischer* bzw. dynamischer Gleichförmigkeit und deren Finalität als irreduzible geometrische und mechanische Grenzformen.
3. Die epistemologische Finalität der Intuition, die auf der Finalität der ontischen Struktur des Freiraumes und der (oben erörterten) freiräumlichen Grenzformen – und -strukturen basiert, und die folglich ihre Identität mit den wirklichen Phänomenen *vergewissert*.

Wie vorher erörtert wurde, entstehen intuitive Erkenntnisse der geometrischen und mechanischen Grundformen und -strukturen wie eine Gerade und eine geradlinige und gleichförmige Trägheitsbewegung *ursprünglich* als finale und irreduzible freiräumliche Formen und Strukturen. Die epistemologische Finalität dieser und ähnlicher Grundformen und -sätze in Geometrie und Mechanik basiert letztendlich auf der ontologischen Finalität des Freiraumes selbst, der der Spielraum aller dieser Intuitionen ist bzw. in dem sich die geometrischen und mechanischen Intuitionen ereignen. Dass die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten eine Gerade ist, sowie die möglichen Umformulierungen dieses geometrischen Axioms, nämlich dass zwischen zwei Punkten nur eine Gerade bestehen kann, oder dass es keine Gerade, die *gerader* als eine andere Gerade ist, geben kann (in anderen Worten: ein Komparativ wie *gerader* sei unmöglich), verweisen auf die ontologische Finalität der geometrischen Grundform Gerade, die weiterhin und *endgültig* auf die ontologische (und ontische) Finalität des Freiraumes zurückzuführen ist. Denn es ist letzten Endes die ontische und ontologische Irreduzibilität und Finalität des Freiraumes – als ein bloß ausgedehntes Nichts –, die einer freiräumlich-geometrischen Form wie der Geraden ihre ontologische und demnach epistemologische Finalität und Irreduzibilität verleiht. Ebenso wie die Gerade basieren die (förmliche und strukturelle) Finalität und Irreduzibilität der anderen Grundformen der Geometrie wie Fläche, Kreis, Rechteck oder dreidimensionale Formen und Strukturen (des Euklidischen Raumes) auf der ontologischen Finalität des Freiraumes.

In der Trägheitsbewegung korreliert die Gerade als geometrische Grenzform mit der dynamischen Gleichförmigkeit der Bewegung, die eine mechanische Grenzform ist. D. h. in der dynamischen Trägheitsbewegung sind ihre grundlegenden und an sich finalen und irreduziblen Phänomene, nämlich die geometrische Linearität und mechanische

Gleichförmigkeit, Korrelate. Wiederum basieren sowohl die Gleichförmigkeit der Trägheitsbewegung als auch ihre *ursprüngliche* Korrelation mit der geometrischen Linearität letztendlich auf der ontisch-ontologischen Finalität des Freiraumes, in dem sie *zustande* kommt. Dass es keine gleichförmige Trägheitsbewegung, die gleichförmiger als eine andere gleichförmige Trägheitsbewegung geben kann, weist zum einen auf die epistemologische Finalität und Irreduzibilität der Intuition dieses mechanischen Phänomens, und zum anderen auf ihre ontologische Finalität hin, die sich endgültig auf die ontisch-ontologische Finalität des Freiraumes zurückführen lässt. Wenn wir feststellen, dass wir intuitiv die Trägheitsbewegung nicht anders als eine lineare, gleichförmige und unendliche Fortbewegung eines Körpers im *absoluten* Freiraum vorstellen können, leiten wir spontan und unbewusst die epistemologische Finalität dieser intuitiven Vorstellung aus einer noch elementaren ontologischen Finalität des Freiraumes ab, in dem sich diese und ähnliche Intuitionen ereignen.

Die grundlegende Korrelation zwischen der geometrischen Linearität und der mechanischen Gleichförmigkeit ist gerade dem in der frühneuzeitlichen Mechanik vorherrschenden *Glauben* an die Vorrangigkeit der Geometrie vor der Mechanik entgegengesetzt. Denn diese Korrelation etabliert den gleichmäßigen ontologischen Status dieser Qualitäten, nämlich der geometrischen Geradheit und der mechanischen Gleichförmigkeit der Trägheitsbewegung, als *finale Grenzqualitäten*. Daher können wir bei den klassischen himmelsmechanischen Intuitionen von einem Vorrang der Geometrie – der geometrischen Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit – vor der Mechanik (und umgekehrt) ausgehen. Wir *erkennen* an der epistemologischen und ontologischen Finalität der mechanischen Grundphänomene wie Trägheitsbewegung oder zentripetale Gravitation eine elementare Korrelation zwischen Geometrie und Mechanik als Raumwissenschaften. Der Abbau des tradierten Glaubens in die Vorrangigkeit der Geometrie vor der Mechanik und die Umdeutung dieses Verhältnisses als eine grundlegende und irreduzible Korrelation würden uns dazu veranlassen, die frühneuzeitlich-mechanischen Intuitionen und mathematischen Deduktionen, die den axiomatischen Grundsätzen der Mechanik zugrunde liegen, erneut zu prüfen. Eine derartige Unternehmung richtet sich offensichtlich auf die Abschaffung jenes residualen Faktums des Glaubens aus der neuzeitlich-mechanischen Epistemologie, das das Faktum des Wissens, welches allein die wahre Synthese zwischen Vorstellung und phänomenaler Wirklichkeit etabliert, lange verschleiert zu haben scheint.

Die apodiktische Gewissheit der bloß apriorisch vorgestellten himmelsmechanischen Strukturen basiert schließlich auf der ontologischen Identität zwischen dem bloß vorgestellten und dem phänomenalen Freiraum im All. Denn sowohl in der imaginativen Erzeugung als auch in der phänomenalen Existenz erweist sich der Freiraum – im Modus eines bloß ausgedehnten Nichts – als ontologisch einheitlich, final bzw. irreduzibel und demnach als identisch. Die Identität zwischen den vorgestellten und den phänomenalen freiräumlichen Formen und Strukturen entsteht aus der ontologischen Einheit, Finalität und Allgemeinheit des Freiraumes *an sich*. Anhand dieses Prinzips vermögen wir festzustellen, dass eine apriorisch vorgestellte Gerade oder Trägheitsbewegung *apodiktisch gewiss ist* bzw. phänomenale Wirklichkeit hat. Denn es besteht *praktisch* kein Unterschied zwischen einer vorgestellten Form der Geraden oder Trägheitsbewegung und ihrer phänomenalen Existenz, indem beide innerhalb identischer freiräumlicher Ausdehnung zustande kommen. Die ontologische Einheit, Finalität und Identität des Freiraumes bilden zugleich die allererste und allerletzte Basis der raumwissenschaftlichen (geometrischen und mechanischen) Intuitionen und ihrer epistemologischen Finalität (dargestellt in den oben erörterten geometrischen und mechanischen Wesenszügen, dass wir eine Gerade weder in der Vorstellung noch in der wirklichen Darstellung weiter nicht begradigen, oder die Trägheitsbewegung nicht anders als geradlinig und gleichförmig vorstellen können).

Die Identität zwischen den vorgestellten und den phänomenalen Strukturen im Kosmos, die der apodiktischen Gewissheit der strukturellen Intuitionen himmelsmechanischer Phänomene zugrunde liegt, ist die von Kemp vorgestellte Resonanz zwischen den internen-intuitiven und externen-phänomenalen Strukturen – im Kontext der irdischen Mechanik – durchaus analog. Daher gelten die oben erörterten epistemologischen und ontologischen Grundlagen der himmelsmechanischen Intuitionen genauso für die irdische Mechanik. Denn der Freiraum, in dem die mechanischen Strukturen sowohl vorgestellt werden als auch sich ereignen, ist ontologisch mit dem unmittelbar anschaulichen Freiraum – also der Spielraum der irdisch-strukturellen Intuitionen – identisch. Allerdings unterscheidet sich die strukturelle Intuition irdisch-mechanischer Phänomene von der der himmelsmechanischen Phänomene in folgenden Aspekten:

1. Die strukturelle Intuition der himmelsmechanischen Phänomene kommt in reiner Vorstellung (a priori) zustande; ihre Wirklichkeit wird nicht unmittelbar erfahren. Dagegen ereignet sich die strukturelle Intuition irdisch-mechanischer Phänomene in unmittelbarer Anschauung, in der ihre Wirklichkeit *zugleich* gegeben wird. Die

Resonanz zwischen den internen-intuitiven und externen-phänomenalen Strukturen in irdisch-strukturellen Intuitionen ist nicht bloß vorausgesetzt, sondern unmittelbar erlebt.

2. Der anschauliche Freiraum auf der Erde ist kein absolut leerer Raum. Er enthält die materielle Luft, die gegen die dynamischen Bewegungen Widerstand leistet. Darüber hinaus müssen bei irdisch-strukturellen Intuitionen mit anderen mechanischen Fakten, die sich an der Entstehung statischer und dynamischer Strukturen beteiligen, nämlich die Gravitation, Reibungsresistenz der Spielfläche, Elastizität des Balls usw. (die in dem von Kemp angegeben Beispiel des Fußballspiels[11] erwähnt werden), berücksichtigt werden.

Die Analogie zwischen dem himmlisch vorgestellten und irdisch erlebten Freiraum ist legitim, denn die oben erwähnten irdisch-mechanischen Fakten (Gravitation, Elastizität, Luftresistenz usw.) können bei der strukturellen Intuition einer im Grunde freiräumlichen und dynamischen Struktur – wie der Trägheitsbewegung – methodisch negiert werden. Die annähernd lineare und gleichförmige Fortbewegung einer Billardkugel oder eines Balls im Cricketspiel nach dem Stoß zeigt die Gesetzmäßigkeit der Trägheitsbewegung in unmittelbarer Anschauung, besonders wenn wir methodisch von den mechanischen Fakten wie Gravitation, Reibungsresistenz der Spielfläche usw. (die der irdischen Trägheitsbewegung entgegenwirken) absehen können. Auch bei den architektonischen und bildhauerischen Entwürfen handelt es sich primär um einen freiräumlichen Entwurf, bevor die mechanischen Fakten wie die Gravitation, Festigkeit der Materie (Strength of Materials), Kräfte der Reibungsresistenz (Shear Resistance) usw. bei der Realisierung des Entwurfs und vorzüglich von Bauingenieuren berücksichtigt werden.[12]

Die Intuition himmelsmechanischer Strukturen

Bei den Intuitionen himmelsmechanischer Strukturen ist der hintergründige Freiraum annähernd ein Raum, der leer ist, obwohl viele Wissenschaftler der klassischen Himmelsmechanik aus rein mechanischen Gründen ein materielles Faktum wie die Präsenz des Äthers, das den Freiraum zwischen Himmelskörpern füllt, behaupteten. Die völlige

---

[11] Hier ist wichtig anzumerken, dass Kemp seine Grundvorstellung von struktureller Intuition sowohl auf die irdisch-mechanischen Phänomene – wie in dem Beispiel des Fußballspiels – als auch auf die himmelsmechanischen Phänomene bezieht, wie vor allem in seiner Erörterung der Keplerschen Kosmologie zum Ausdruck kommt.

[12] In einem treffenden Beispiel, nämlich *Dust Landscape* von Jonathen Callan, zeigt Kemp, wie diese mechanischen Fakten ganz natürlich eine bildhauerische Form der Kunst hervorbringt. Vgl. dazu Kemp, a.a.O., S. 148-149.

Abwesenheit der Kräfte der materiellen Reibung ermöglichte den Wissenschaftlern der Himmelsmechanik in der frühen Neuzeit – insbesondere Newton – die himmelsmechanischen Strukturen intuitiv zu entdecken und sie geometrisch-mathematisch zu begründen. Die Mathematisierung der physikalischen Strukturen des Kosmos ging hauptsächlich von der vollkommen geometrisch-mathematischen Vorstellung der zwei *übrig gebliebenen* Grundkräfte im All aus, nämlich der den Himmelskörpern latenten Trägheit und der im Freiraum ausgedehnten Gravitation. Die von Kepler postulierten Gesetze des Kosmos und deren mathematische Demonstrationen von Newton basierten letztendlich auf der Möglichkeit, diese zwei Grundkräfte im All vollkommen zu mathematisieren bzw. ihre Struktur und Gesetzmäßigkeit geometrisch-mathematisch darzustellen. Daraus ergaben sich die himmelsmechanischen Gesetze wie das Trägheitsgesetz und Flächensatz der Planetenbewegung, Elliptizität der Planetenbahnen sowie das Inverse Square Law der Gravitation.

Mit seinem „Principia" erhob Newton den Anspruch auf die Legitimität der geometrisch-mathematischen Demonstrationen, durch die allein die Gesetzmäßigkeit der himmelmechanischen Strukturen *bewiesen* werden können. Bloße Vorstellungen der himmelsmechanischen Grundsätze, wie die Elliptizität der Planetenbahnen und der Flächensatz der Planetenbewegung (auf elliptischen Bahnen) von Kepler sowie das von Hooke *vorgeschlagene* Inverse Square Law der Gravitation und deren Zusammenwirkung mit der Trägheitsbewegungstendenz der Planeten in Erzeugung der elliptischen Bahnen, wurden von Newton als bloße Vermutungen (guesses) betrachtet und ihrer mathematischen Beweisbarkeit gegenüber herabgesetzt. Aber die mathematischen Demonstrationen dieser und ähnlicher Gesetzte der Himmelsmechanik basieren auf axiomatischen strukturellen Intuitionen der Grundkräfte im All, nämlich der Gravitation und Trägheit, die *an sich* mathematisch nicht bewiesen werden können, wie vorher erörtert wurde. Wir haben gesehen, wie ein kompositorischer Grundsatz wie das Parallelogramm-Gesetz der Kräfte oder das Prinzip der Infinitesimalrechnung, auf denen Newton seine Beweise des Keplerschen Flächensatzes aufbaut, *ursprünglich* geometrisch-mechanische strukturelle Intuitionen sind. Das notwendige Faktum der unmittelbar visuellen Intuitionen in geometrisch-mathematischen Demonstrationen der himmelsmechanischen Strukturen und ihrer Gesetzmäßigkeit scheint der Newtonsche Anspruch auf die Authentizität seiner Methode – gegenüber den bloßen aber wahren Vermutungen von Kepler und Hooke – eine wesentlich andere Dimension zu verleihen.

Was sich rein intuitiv bestimmen lassen, sind die *Natur und Struktur* der mechanischen Grundkräfte der Gravitation und Trägheit der Himmelskörper. Bis zur Kopernikanischen Astronomie schienen derartige strukturelle Intuitionen, aus denen sich die axiomatischen Grundsätze einer Himmelsmechanik ergeben sollten, kaum für notwendig gehalten zu werden. Denn die vollkommen geometrische Präformiertheit und mechanische Harmonie, dargestellt in der bis Kepler tradierten Astronomie als Vorstellungen von kreisförmigen Planetenbahnen und gleichförmigen Planetenbewegungen sowie die vollkommen sphäroidische Kristallsphäre des Himmels, verschleierten die wirkliche Phänomenalität der dynamischen Strukturen im All. Die vollkommenen und irreduziblen Formen der kreisförmigen Bahnen und gleichförmigen Bewegungen der Planeten sind zwar ursprünglich geometrisch-mechanische strukturelle Intuitionen, aber in der vor-Keplerschen Astronomie wurden sie kaum *in Resonanz mit der wahren Phänomenalität der himmelsdynamischen Strukturen* vorgestellt, sondern im Rahmen eines lange vorherrschenden Glaubens, nämlich die vollkommen geometrisch-mathematische Präformiertheit und Gesetzmäßigkeit der Welt, auf die Wirklichkeit des Kosmos aufoktroyiert. Die beobachteten Abweichungen der Planeten von kreisförmigen Planetenbahnen wurden nicht nur angenommen, sondern oftmals anhand desselben geometrischen Instrumentariums, nämlich der Anwendung der exzentrischen Kreisformen, zu begründen versucht.

Am Anfang seines Werdegangs war auch Kepler Erbe dieser Tradition. Kepler war ursprünglich von der vollkommen geometrischen Präformiertheit des Kosmos und dessen mechanischen Harmonie überzeugt. Dies kam vor allem in seiner berühmten Vorstellung der platonischen perfekt-geometrischen Körper *Hexaeder*, *Tetraeder*, *Dodekaeder*, *Ikosaeder* und *Oktaeder*, die die Grenzen der sphäroidischen Sphären der Planeten bestimmen sollten, zum Ausdruck. Die lange tradierte und vorherrschende Vorstellung der himmelsdynamischen Strukturen im Modus vollkommener geometrischer Formhaftigkeit des Kreises und mechanischer Harmonie der Gleichförmigkeit planetarischer Bewegungen lässt sich kaum bloß auf eine natürliche Faszination der Menschen für perfekte und als solche *ewige* Formen in der Natur zurückführen. Epistemologisch erweist sich diese Neigung als ein Grundmotiv, die Phänomenalität des Kosmos zu finalen und irreduziblen Formen und ihren ebenso finalen Gesetzen, die demnach den Zug axiomatischer Grundsätze annehmen und folglich Apriorität und apodiktische Gewissheit erlangen, zu denken bzw. intuitiv vorzustellen. Die vorher erörterte Finalität, Wahrhaftigkeit und Allgemeinheit der axiomatischen Erkenntnisse in der Himmelsmechanik schienen durch eine derartige Denk- oder Vorstellungsweise gewährleistet zu sein. Die empirische Evidenz der Marsbewegung, die Kepler aus den von Tycho Brahe überlieferten astronomischen Beobachtungen ableitete, zerstörte seine eigene sowie die tradierte Überzeugung von der vollkommenen geometrisch-mechanischen Harmonie des Kosmos. Die elliptische Form der Planetenbahnen, die Dezentriertheit der Sonnenposition sowie die periodische Variation der Planetengeschwindigkeit widersprachen fast allen Wesenszügen der tradierten kosmologischen Harmonie. Allerdings war Kepler lange nicht dazu bereit, von seiner Überzeugung von der Existenz der vollkommenen geometrisch-mechanischen Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit des Kosmos, dargestellt insbesondere in kreisförmigen Planetenbahnen, abzuweichen:

„Like Copernicus before him, Kepler had drunk deeply at the spring of Renaissance neoplatonism, and imbibed its principle that the universe is constructed according to geometric principles. Coming two generations later, Kepler had the perspective to see where Copernicus´ system failed to achieve the ideal of geometrical simplicity which both of them shared. Kepler's work would be the perfection of Copernican astronomy according to neoplatonic principles. […] Ever since the flowering of Greek science, astronomy had attempted to account for celestial phenomena by combination of uniform circular motions. The circle being the perfect figure, it alone was suitable to describe the heavens. Kepler too began his consideration of Mars with a circle, but from the beginning his treatment differed from earlier ones. […] Kepler first attempted to fit Mars to just such a circular orbit. Even in utilizing the circle, however, Kepler began to reject it, by denying uniform circular motion and accepting, as the evidence demanded, the proposition that Mars moves in its orbit with a varying velocity. […] Nothing in Kepler's celestial mechanics operated to pull a planet aside from a tangential path and retain it in an orbit around the sun. The continuing hold of the circle over the thought even of the man who broke its grip on astronomy is attested by the fact Kepler never doubted that planets would move round the sun in closed orbits if they moved at all."[13]

Hier ist wichtig anzumerken, dass Kepler nicht bereit war, die wichtigste Entdeckung seiner Astronomie, nämlich die Elliptizität der Planetenbahnen, aus den von Brahe überlieferten empirischen Beobachtungen der Marsbewegung sofort abzuleiten. Die endgültige Annahme der Elliptizität der Planetenbahnen war bei Kepler ein *Endergebnis*, also ein Ergebnis, zu dem er nach vielen vergeblichen Unternehmungen, die beobachteten Irregularitäten der Marsbahn geometrisch zu lösen bzw. sie erneut in eine Kreisform einzuarbeiten, gelangte:

„All of the complexity of eccentrics and epicycles had been swallowed up in the simplicity of the ellipse. The bait concealed a hook, of course. The cost of accepting the ellipse´s simplicity was the abandonment of the circle, with all its ancient connotations of perfection, immutability, and order. Only by degrees and then only imperfectly had Kepler freed himself from the circle´s power over his imagination, and he never forgot what its attractions were. The chief value of the second law, in his eyes, was the new uniformity it offered to replace that of circular motion. To a friend who protested against the ellipse, he described the circle as a voluptuous whore

[13] Westfall, Richard S.: The Construction of Modern Science, Cambridge University Press, Cambridge 1977, S. 4, 6 & 9.

enticing astronomers away from the honest maiden nature. His master, Copernicus, had preferred the jade. If it is true to say that Kepler perfected Copernican astronomy, it is equally true to say that he destroyed it."[14]

Ein anderer und noch bedeutenderer Grund für diese gedankliche Resistenz war zweifelsohne die abenteuerliche Durchführung eines historischen Übergangs in der Methode der Himmelsmechanik von der *rein apriorischen* geometrisch-strukturellen in eine bloß dynamisch-strukturelle Intuition, die in Resonanz mit der empirisch *gegebenen* kosmologischen Wirklichkeit zustande kommen sollte. Erst mit Kepler begann die dynamische Wende in der Geschichte der neuzeitlichen Astronomie, die zum einen die damals vorherrschende Vorstellung von der kosmologischen Kinematik ersetzte und zum anderen die tradierte Annahme der geometrisch-mechanischen Harmonie des Kosmos umstrukturierte. Seit der völligen Verwerfung der Kreisform und der Annahme der Elliptizität der Planetenbahnen, der Exzentrizität der Sonnenposition (auf einer der beiden Fokusse der Ellipse) sowie der periodischen Variation der Planetengeschwindigkeit wurden die Keplerschen Untersuchungen in der von ihm selbst etablierten *Himmelsphysik* durch ein Leitmotiv gekennzeichnet, die Intuitionen himmelsdynamischer Strukturen mit ihrer beobachteten und als solche *gegebenen* Wirklichkeit in Einklang zu bringen.

Allerdings konnte Kepler bei seinen Untersuchungen auch im Rahmen seiner Himmelsphysik kaum von richtigen Annahmen ausgehen. Die wichtigen Prämissen seiner kosmologischen Untersuchungen, nämlich die wahre Natur und Struktur der Grundkräfte der Gravitation und Trägheit wurden bei Kepler intuitiv kaum richtig vorgestellt. Kepler blieb in der traditionellen aristotelischen Vorstellung von Trägheit befangen, nach der ein Körper nur durch eine Ursache in Bewegung versetzt werde und in diesem Zustand bleibe, und bei ihrer Abwesenheit notwendigerweise zur Ruhe tendiere. Ebenso stellte er sich eine aus der Sonne ausstrahlende Kraft vor, die die Planeten in Kreisbewegungen setzt und erhält. Die Natur einer derartigen Sonnenkraft war der zentripetalen Gravitation kaum analog; ihre Funktion war eine relativ feste Verbindung zwischen Sonne und Planeten – wie in der Form einer mechanischen Spindel –, durch die die ursprüngliche Rotation der Sonne auf Planeten lediglich übertragen wird. Die grundlegende Ursache der Planetenbewegungen im Keplerschen System war keine Zusammenwirkung von zentripetaler Gravitation und linear-tangentialer Trägheitsbewegung der Planeten, sondern allein die Rotation der Sonne, deren

[14] Ebd., S. 11-12.

Ursache – als Letztbegründung – bei Kepler nicht mechanisch, sondern *animalisch* – als Wirkung einer Seele – vorgestellt wurde.[15]

Das Newtonsche Erbe, dargestellt in den angemessenen mathematischen Demonstrationen der von Kepler und Hooke vorgestellten himmelsmechanischen Prinzipien, besteht auch darin, dass er von richtigen Prämissen der Himmelsmechanik, nämlich der wahren Natur und Struktur der solaren und planetarischen Gravitation und Trägheitsbewegungstendenz der Planeten, ausgehen konnte. Allerdings erbte Newton das Trägheitsgesetz bekanntlich von Descartes; die zentripetale Anziehung der Gravitationskraft wurde bereits von Galileo, Wren und Hooke u. a. vorgestellt. Das Parallelogramm-Gesetz der Kräfte, das neben der zentripetalen Gravitation und linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten die wichtigste Grundlage seiner geometrisch-mathematischen Demonstrationen – des Flächensatzes, der Elliptizität der Planetenbahn usw. – bildete, wurde bereits in der Antike von Aristoteles *entdeckt* und fast axiomatisch konzipiert. Was hat Newton in der Geschichte der Mechanik wirklich geleistet, damit sein Hauptwerk *Principia* überhaupt zum Grundtext, zum Kodex der klassischen Mechanik wurde und als solche bis heute bleibt? Dem Triumph Newtons – über seine Zeitgenossen sowie Vorgänger in der Wissenschaft der Mechanik – scheinen folgende Fakten zugrunde zu liegen:

1. Kodifizierung der scheinbar fragmentarisch überlieferten Prinzipien der Mechanik zu einem Gesamtsystem anhand des *bekanntlich* unwiderlegbaren und absolut gewissen Instrumentariums der Mathematik.
2. Universalisierung der mechanischen Phänomene, die auf der Universalität der mathematischen Prinzipien basieren. Dies wurde durch seine Grundvorstellung von der universalen Gravitation – vielleicht der größte Beitrag Newtons zu der Wissenschaft der Mechanik – am ehesten belegt.
3. Methode der geometrisch-mathematischen *Synthese* der axiomatischen Gesetze der Mechanik, durch die sich die irdisch- und himmelsmechanischen Phänomene erklären und logisch begründen lassen. Das treffende Beispiel hierfür wäre die *einfache* Lösung des Keplerschen Flächensatzes in *Principia*, in der Newton die geometrisch-mathematisch dargestellten Grundprinzipien der Mechanik, nämlich die zentripetal-gravitationelle Anziehung der Sonne, die linear-tangentiale Trägheitsbewegungstendenz der Planeten und das Parallelogramm-Gesetz der Kräfte

[15] Vgl. Koyré, Alexander: The Astronomical Revolution. Copernicus – Kepler – Borelli, übersetzt von Dr. R. E. W. Maddison F. S. A., Paris 1973, S. 257-258.

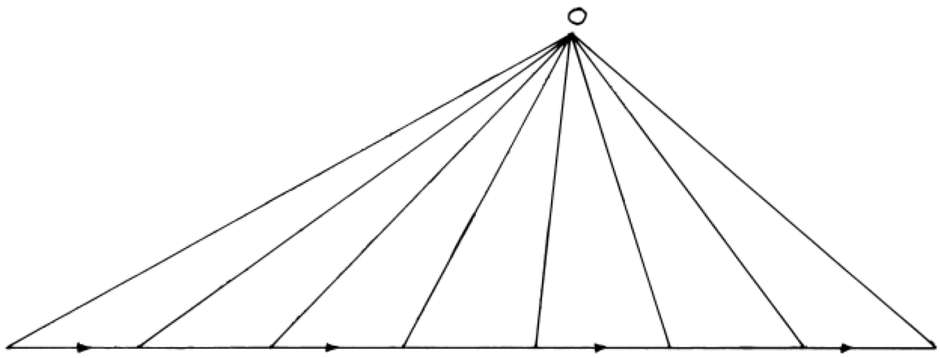
anhand des (von Newton selbst erfundenen) Prinzips der Infinitesimalrechnung synthetisierte.

4. Das Prinzip der Infinitesimalrechnung, die Newton ermöglichte, Keplersche Grundgesetze des Flächensatzes und der Elliptizität der Planetenbahnen mathematisch zu demonstrieren.

Was alle diese – und vielleicht ähnliche – Fakten gemeinsam haben, ist die zu der damaligen Zeit vorherrschende und bis heute aktuelle Legitimität und Unwiderlegbarkeit der mathematischen Methode. Gerade diese solide Basis seiner mechanischen Philosophie veranlasste Newton, die wichtigen axiomatischen Intuitionen von anderen – insbesondere den Flächensatz der Planetenbewegung und die Elliptizität der Planetenbahnen von Kepler und das *Inverse Square Law* der Gravitation von Hooke –, die er mathematisch-demonstrativ begründete, als bloße Vermutungen (guesses) zu bezeichnen.

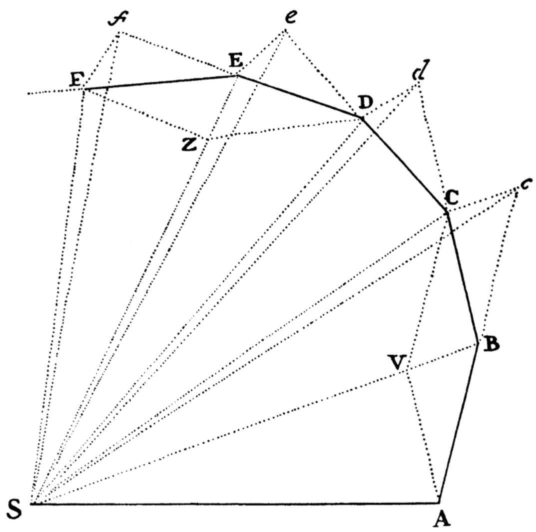
Visuelle Intuition als Basis der mathematisch-demonstrativen Axiomatisierung mechanischer Phänomena

Nun untersuchen wir beispielsweise, wie Newton in einem synthetisch-intuitiven Verfahren den Keplerschen Flächensatz mathematisch demonstriert. Die Einfachheit, Leichtigkeit und Kohärenz dieser Demonstration ist es gewesen, die die Wissenschaftler und Wissenschaftshistoriker der modernen Mechanik – von Newtons Zeitgenossen bis zu den heutigen Kommentatoren – in Erstaunen versetzte und sie folglich veranlasste, die geometrisch-mechanische Begründung des Flächensatzes als ausgezeichnetes Zeugnis für die Authentizität Newtonscher Methode anzunehmen. Ganz charakteristisch begann Newton seinen Beweis für den Keplerschen Flächensatz nicht mit einer rein mechanischen, sondern vorzugsweise mit einem geometrischen Modell. Zunächst wurde die dynamisch-strukturelle Intuition der Trägheitsbewegung eines Körpers im leeren Freiraum, auf den keine gravitationellen Kräfte einwirken, geometrisch als eine lineare und gleichförmige Bewegung dargestellt. Dies bildete die erste axiomatische Vorstellung. Gemäß der Trägheitsbewegungstendenz bahnt der Körper gleiche lineare Strecken in gleichen Intervallen. Danach fixierte Newton einen Punkt außerhalb dieser Linie, der im nächsten Schritt dieses geometrisch-mechanischen Verfahrens das Zentrum der zentripetalen Gravitation sein sollte. Anhand eines geometrisch-axiomatischen Prinzips, nämlich des Flächensatzes des Dreiecks, konnte Newton leicht demonstrieren, dass der Körper in *Verbindung* mit diesem externen Punkt gleiche dreieckige Fläche durchstreicht, wie die Figur 3 darstellt:



Figur 3

Als nächster Schritt wurde in diesem externen Punkt eine zentripetale Gravitationskraft eingeführt, die den Körper von seiner linearen Trägheitsbewegung stets ablenkt und folglich zu einer kurvigen Bahn bringt. Durch eine einfache aber außergewöhnliche Synthese vom Parallelogramm-Gesetz der Kräfte, Trägheitsgesetz, Flächensatz des Dreiecks sowie Prinzip der Infinitesimalrechnung konnte Newton darlegen, dass die Bewegung des Körpers auch bei der Kurvierung seiner Bahn durch eine zentripetale Kraft *demselben* Flächensatz unterworfen ist:



Figur 4

„*The areas which bodies made to move in orbits described by radii drawn to an unmoving centre of force lie in unmoving planes and are proportional to the times.”*

“Let the time be divided into equal parts, and in the first part of the time let a body by its inherent force describe the straight line AB. In the second part of time, if nothing hindered it, this body would (by law 1) go straight on to *c*, describing line B*c* equal to AB, so that – when radii AS, BS, and *c*S were drawn to the centre – the equal areas ASB and BS*c* would be described. But when the body comes to B, let a centripetal force act with a single but great impulse and make the body deviate from the straight line B*c* and proceed in the straight line BC. Let *c*C be drawn parallel to BS and meet BC at C; then, when the second part of the time has been completed, the body (by corol. 1 of the laws) will be found at C in the same plane as triangle ASB. Join SC; and because SB and C*c* are parallel, triangle SBC will be equal to triangle SB*c* and thus also to triangle SAB. By a similar argument, if the centripetal force acts successively at C, D, E, ..., making the body in each of the individual particles of time describe the individual straight lines CD, DE, EF, …, all these lines will lie in the same plane; and triangle SCD will be equal to triangle SBC, SDE to SCB, and SEF to SDE. Therefore, in equal times equal areas are described in an unmoving plane; and by composition [or componendo], any sums SADS and SAFS of the areas are to each other as the times of description. Now let the number of triangles be increased and their width decreased indefinitely, and their ultimate perimeter ADF will (by lem. 3, corol. 4) be a curved line; and thus the centripetal force by which the body is continually drawn back from the tangent of this curve will act uninterruptedly, while any areas described, SADS and SAFS, which are always proportional to the times of description, will be proportional to these times in this case."[16]

Diese geometrisch-mathematische Demonstration, obwohl sie in *Principia* in einem deduktiven Verfahren aus den *intuitiv* zu erkennenden axiomatischen Grundsätzen der Mechanik, nämlich dem Trägheitsgesetz, Gravitationsgesetz, Parallelogramm-Gesetz der Kräfte sowie dem geometrisch-mathematischen Prinzip der Infinitesimalrechnung, abgeleitet wurde, lässt sich bloß intuitiv vorstellen bzw. visualisieren. Allerdings erweist sich eine derartige Vorstellung (die Newton mit seiner außergewöhnlichen Begabung für geometrische Intuition geleistet hätte, bevor er sie zeichnerisch darstellte) im Verglich zu der Intuition eines einfachen mechanischen Grundsatzes wie des Trägheitsgesetzes als eine komplexe bzw. kompositorische strukturelle Intuition. Diese epistemologische Synthese der einzelnen strukturellen Intuitionen zu einem einheitlichen dynamischen Modell ist eine erstaunliche Leistung Newtons und markiert den Triumph seiner mathematischen Methode. Dennoch vermag diese mathematische Demonstration den Keplerschen Flächensatz in ihrer Spezifität kaum begründen. Der Newtonsche Beweis gilt nicht nur für die *elliptische* Kurvierung der Planetenbahnen, sondern auch für alle möglichen kurvigen Formen eines Kegelschnitts und auch für alle offenen Kurven.

Die große Vielfalt der kurvigen Formen, die sich aus diesem mathematisch-deduktiven Verfahren von Newton ergeben, war allerdings kein Einzelfall in der Wissenschaft der Klassischen Mechanik; sie wurde weiter bestätigt durch eine andere ebenso bekannte Beweisführung der planetarischen Bahn aus den gegebenen Prämissen des Inverse-Square Law der Gravitation und dem Trägheitsgesetz der planetarischen Bewegung. Die Möglichkeit

[16] Newton, Isaac, Sir: The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy, translated by I. Bernard Cohen and Anne Whitman, University of California Press, Berkeley 1999, S. 444-445.

dieser Beweisführung wurde bekanntlich zunächst unter Edmund Halley, Sir Christoph Wren und Robert Hooke diskutiert. Als Halley im Jahr 1684 Newton in Cambridge besuchte, fragte er nach der Form der Kurve, die sich aus der Zusammenwirkung von Gravitation, die sich gemäß dem Inverse-Square Law variiert, und der linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten entstehen sollte. Darauf antwortete Newton sofort, dass die resultierende Planetenbahn eine Ellipse sei, und dass er sie bereits mathematisch bewiesen hatte. Auf Aufforderung von Halley schickte Newton erst nach vielen Monaten allerdings nicht den Beweis, der versprochen wurde, sondern den Beweis des umgekehrten Problems, nämlich die Ableitung des Inverse-Square Law der Gravitation aus der gegebenen Prämisse der elliptischen Planetenbahn. Dennoch behauptete Newton, dass die Umkehrung dieses Ergebnisses (dargestellt in dem Ausdruck „et contra") das von Halley gestellte Problem auflösen würde,[17] was bis heute unter den Wissenschaftshistorikern erörtert wird. Diese strategische Umdrehung eines Grundproblems der Klassischen Himmelsmechanik veranlasste bereits zu der damaligen Zeit – insbesondere bei den Wissenschaftlern der Mechanik auf dem Kontinent – Skepsis gegenüber dem Anspruch Newtons auf die Authentizität seiner mathematischen Demonstrationen in *Principia*. Das von Halley gestellte Problem wurde bekanntlich von Johannes Bernoulli gelöst, obwohl Newton einen anderen und früheren Beweis von John Keil übernahm und in sein Hauptwerk integrierte. Allerdings entsprach die Lösung Bernoullis nicht der *Behauptung* Newtons, dass die sich aus den von Halley gegebenen Prämissen ergebende Planetenbahn eine Ellipse sein sollte. Aus der Zusammenwirkung von der dem Inverse-Square Law unterworfenen Gravitation der Sonne und der linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten ergibt sich – genauso wie im Fall der geometrisch-mathematischen Beweisführung des Flächensatzes – eine große Vielfalt der Planetenbahnen, die die kurvigen geometrischen Formen der Kegelschnitte bilden:

„Consider the question that Halley posed to Newton: assuming that the force varies as $1/r^2$, what will be the resulting trajectory? The *Principia* responds, in fact, to a different question: if the trajectory is an ellipse, what must be the law of the variation of the force? It is important not to confuse the two:

A. Given the trajectory, how to find the law of force?
B. Given the law of force, how to determine the trajectory?

[17] Vgl. hierzu Lohne, Johannes: Hooke *versus* Newton, veröffentlicht in Centaurus (vol. 7), Kopenhagen 1960, S. 35-36.

The second question is called ‚the inverse problem‘. Newton himself, in the *Principia*, does not always distinguish the two questions clearly. He sometimes evokes a response to question (A) as if it were a response to question (B).

The inverse problem, that is to say, the passage from the law of the force to the trajectory, is mathematically a much more difficult enterprise than the passage from the trajectory to the law of force. A known trajectory gives a geometrical representation of the situation from which reasoning is easier. If, on the contrary, only the law of force is known, the geometrical object must be constructed (whether in one step, or gradually in several).

In the *De motu* and in the *Principia*, Newton gives a detailed response to question (A). But it was the question (B) that Halley has posed. Did Newton believe he had solved the inverse problem? He was undoubtedly cognizant of the difference between a theorem and its converse (as, per example, in propositions 1 and 2 of the *Principia*).

Johann Bernoulli reproached him twenty-three years later with having supposed without demonstration that the trajectory must be a conic section.“[18]

Ebenso wie mit Hooke – bezüglich der Entdeckung des Inverse-Square Law der Gravitation – entstand zwischen Bernoulli und Keil, dessen Beweis von Newton angenommen wurde, ein Prioritätsstreit über die *richtige* Lösung des von Halley gestellten Problems. Zwar konnte Bernoulli dieses Problem geometrisch-mathematisch beweisen, aber seine Lösung besagte keine Spezifität der Elliptizität der Planetenbahnen. Wichtig ist hier anzumerken, dass Bernoulli sich zunächst die richtige Lösung ohne mathematische Demonstration bloß *vorstellen* konnte (worauf Gandt hindeutet), was deutlich den möglichen Ursprung auch derart komplexerer Erkenntnis in der Klassischen Himmelsmechanik aus einer *vorrangigen* strukturellen Intuition zeigt. Das Scheitern aller dieser Lösungsversuche, indem sie die Spezifität des Keplerschen Untersuchungsgegenstands, nämlich die Elliptizität der Planetenbahnen, nicht erlangen, bleibt bis heute unter vielen Wissenschaftshistorikern eine allgemein anerkannte Tatsache. I. Bernard Cohen, einer der bekannten Wissenschaftshistoriker des 20. Jahrhunderts, weist spezifisch auf dieses Problem in der Newtonschen Methode hin:

„Thus was revealed for the first time the physical or causal significance of the area law in relation to the law of linear inertia and the concept of a centripetal force. It is only in the next section of *Principia*, in Prop. II, that Newton precedes to the actual shape of the orbit. He proves that if the orbit of a moving body is elliptical, the centripetal force directed towards a focus must vary inversely as the square of the distance. Succeeding

[18] Gandt, François de: Force and Geometry in Newton’s *Principia*, Princeton University Press, New Jersey 1995, S. 7-8. Vgl. auch Lohne, Johannes: Hooke *versus* Newton, veröffentlicht in Centaurus (vol. 7), Kopenhagen 1960, S. 35-36. Zur Johann Bernoullis Beweisführung des *Inversen Zentralkraftproblems*, vgl. Ohly, Sibylle: Johann Bernoullis Mechanische Arbeiten 1690 bis 1713, Augsburg 2004, S. 400 ff. Vgl. auch Brackenridge, Bruce J.: The Key to Newton’s Dynamics, University of California Press, Berkeley 1995, S. 69 ff.

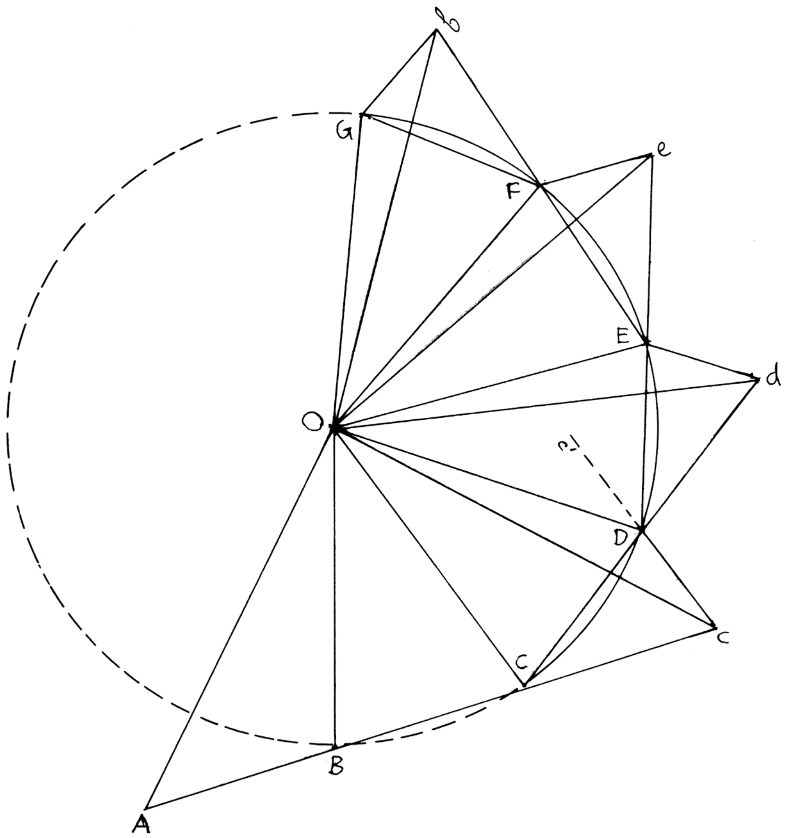
propositions demonstrate that in a parabolic or a hyperbolic orbit, the same law of force will obtain. [...] Newton proved, in other words, that a planet (considered as a point mass) moving about a center of force (which could be at rest or in motion) in any one of the conic sections, according to the law of areas, would be combining an inertial motion with the continued accelerative effects of a central force varying inversely as the square of the distance. The converse case, also explored by Newton, namely, the orbit produced by a central force (varying inversely as the square of the distance) acting continuously on a body with an initial component of inertial motion, did not yield a unique answer unless a further specification of the initial conditions was made; the orbit could be any one of the conic sections, ellipse or parabola or hyperbola, or even a circle or a straight line."[19]

Sowohl die geometrisch-mathematische Demonstration des Flächensatzes als auch die der Form der Planetenbahn aus den gegebenen Kraftprämissen – Gravitation und Trägheit - konnte den von Kepler untersuchten *existierenden Zustand* der Planetenbahnen, nämlich der Ellipse mit der Sonne auf einem der beiden Fokusse und die periodische Geschwindigkeitsvariation der Planeten, nicht *spezifizieren*. D. h. sie lieferten keine Universalität der gegenwärtigen Spezifität der planetarischen Bewegungen um die Sonne, sondern nur die Gesetzmäßigkeit jener Kurve, die auf die *ursprünglichen Bedingungen* einer vergangenen *Ankunft* der Planeten in die Domäne der Sonne zurückzuführen ist. Hier stellen wir einen wesentlichen Unterschied zwischen der Keplerschen Intuition und der Newtonschen geometrisch-mathematischen Demonstration fest. Während bei Kepler die existierende dynamische Struktur der Planetenbahnen den Ausgangspunkt seiner – intuitiven und deduktiven – Untersuchung war, ging Newton – zwar unter dem Einfluss von Hooke und gemäß der Fragestellung von Halley – von *ursprünglichen* Voraussetzungen der Zustände der Trägheitsbewegung der Planeten, der solaren Gravitationskraft sowie ihrer strukturellen Konstellationen aus. Während Kepler in Anlehnung an die Tradition der Astronomie aus der beobachteten unerklärlichen Exzentrizität der Kreisform die *existierende* Elliptizität der Planetenbahn erreichte, leitete Newton die möglichen Formen der Planetenbahnen aus der Zusammenwirkung von einem ursprünglichen Zustand der Trägheitsbewegung und Gravitation ab. Die von Cohen nachdrücklich betonten Voraussetzungen der Ursprungszustände im Newtonschen System verweisen auf den möglichen Ursprung der Planetenbahnen und den Ursprung des Solarsystems überhaupt. Demnach sollten wir einen ursprünglichen Sonnenzustand vorstellen, in dem die Sonne, umgeben von ihrem Gravitationsfeld, allein steht. Zu dieser Domäne kommen dann die Planeten ähnlich Einwanderern in annähernd lineare Bahnen. Gemäß der Ankunftsrichtung bzw. -orientierung der Planeten und ihrer Masse, Geschwindigkeit und Entfernung vom Sonnenzentrum

[19] Cohen, Bernard, a. a. O., S. 16, 32.

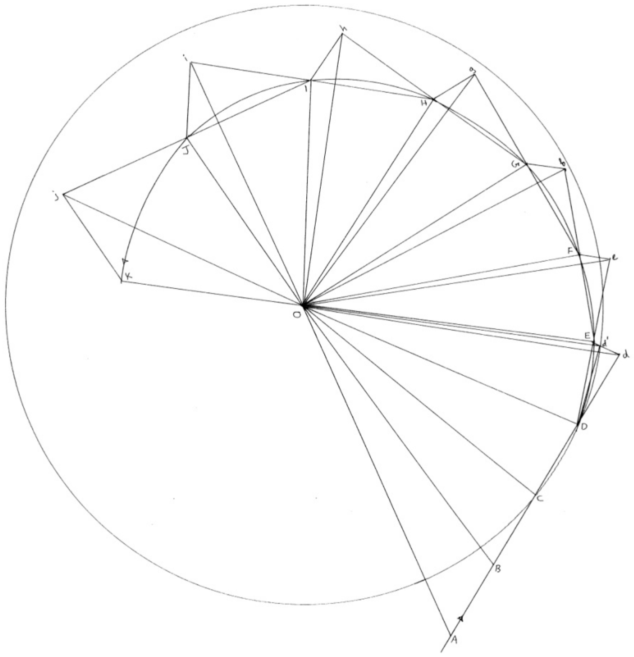
entstehen zahlreiche offene, spiralförmige und geschlossene Planetenbahnen und in seltenen idealen Fällen Kreisbahnen. Folglich enden einige Planeten – wahrscheinlich in spiralen Bahnen – in der Sonne, während einige Planeten gemäß den oben erwähnten Ursprungszuständen die gravitationelle Anziehung der Sonne überwinden und die übrigen Planeten in geschlossenen elliptischen oder kreisförmigen Bahnen um die Sonne herum zu drehen beginnen.

Eine derartige längst vergangene Ursprungsgeschichte des Sonnensystems kann allerdings empirisch nicht bewiesen werden. Was uns in dieser Geschichte, der Newtonschen Himmelsmechanik entsprechend, ungereimt vorkommen würde, ist die Annahme der spiralförmigen Bahnen, auf welche die Planeten im Sonnenzentrum treffen. Denn die spiralförmigen Planetenbahnen kommen zustande, wenn die Planetenbewegung im Freiraum durch ein resistierendes Medium – wie Luft – stets behindert wird, oder wenn die Gravitation stärker in einem Inverse-Cube Law variiert. Bevor wir diesen Punkt weiter erörtern, versuchen wir herauszufinden, wie die Newtonsche Demonstration des Flächensatzes stets durch eine strukturelle Intuition begleitet werden kann (und soll), woraus sich der von Cohen aufgewiesene Fall, nämlich die mögliche Entstehung zahlreicher offener und geschlossener Kurven als Planetenbahnen, ergibt. Die wichtigsten Ursprungszustände dieser Demonstration sind die zentripetale Gravitationskraft und die lineare Trägheitsbewegungstendenz, durch die die Planeten gegen die gravitationelle Abbiegung ihrer Bahn Widerstand leisten. Die lineare Trägheitstendenz des Planeten basiert auf der Masse des Planeten und seiner Geschwindigkeit. Im Gegensatz zur Gravitation und der Trägheitsbewegung lässt sich die Masse des Planeten geometrisch nicht darstellen. Aber im Newtonschen Gravitationsprinzip sind die Massen der beiden einander anziehenden Körper – als Produkte der Massen – mit einbezogen und demnach sowohl in der solaren zentripetal-gravitationellen Anziehung als auch in der planetarischen linear-tangentialen Trägheitsbewegung integriert. Daher können die ursprüngliche Ankunft oder Annäherung aller Planeten zur Domäne der Sonne und die solare Anziehungskraft, die sich gemäß einem Inverse-Square Law zentripetal variiert, geometrisch dargestellt werden. Bei dieser Darstellung vermögen wir *rein intuitiv* wahrzunehmen, dass eine geschlossene kreisförmige Planetenbahn nur unter einem idealen Fall der oben genannten Ursprungszustände entstehen kann, wie die Figur 5 zeigt:



Figur 5

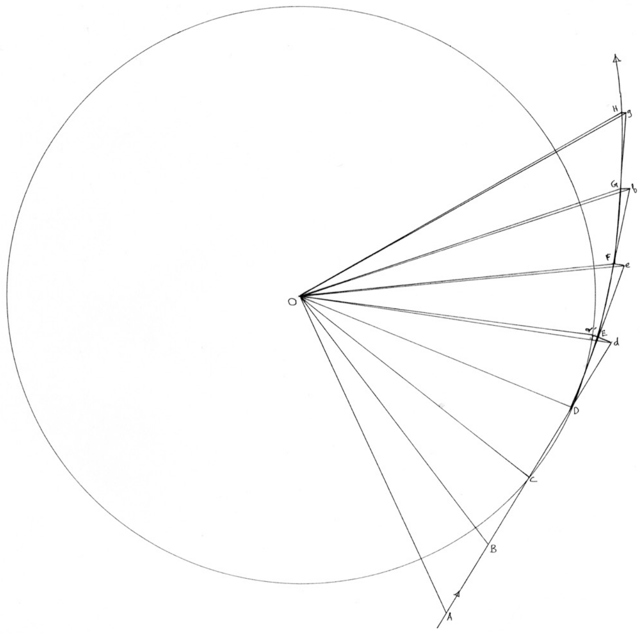
Die Linie ABC stellt die *ursprüngliche* Trägheitsbewegung des Planeten dar, der zu einem externen Punkt O Dreiecke (Δ AOB und ΔBOC) mit gleichen Flächen in gleichen Intervallen durchstreicht. Der Newtonschen Methode entsprechend, führen wir die zentripetale Gravitationskraft im Punkt O ein, wenn der Planet den Punkt C erreicht. Gemäß dem Parallelogramm-Gesetz der Kräfte *muss* der Planet in demselben Zeitraum ‚t' *irgendeinen Punkt* auf der Linie cc´, die der Linie OC parallel ist, *erreichen*. Nun können wir rein intuitiv feststellen, dass nur wenn der Planet im Zeitraum t durch die Gravitation zu dem Punkt D auf der Linie cc´, der die gleiche Entfernung wie der Punkt C vom Gravitationszentrum O hat, abgelenkt wird, eine kreisförmige Kurvierung der Planetenbahn entsteht, und dass der Planet bei der Fortsetzung dieses geometrischen Verfahrens weiterhin zu den vom Gravitationszentrum gleich entfernten Punkten E, F, G usw. abgelenkt wird und folglich eine vollkommen kreisförmige Planetenbahn entsteht. Die finale und irreduzible Formhaftigkeit des Kreises bringt auch in dieser Demonstration eine Reihe von gleichen Dreiecken (Δ BOC = Δ COD = Δ DOE….., Δ CcD = Δ DdE = Δ EeF…., Δ OcD = Δ OdE = Δ OeF.. usw.) zustande, was sich ebenso intuitiv vorstellen lässt.[20] Anhand einer analogen strukturellen Intuition vermögen wir zu erkennen, dass eine andere Konstellation der Planetenmasse und der ursprünglichen Planetengeschwindigkeit sowie seiner Ankunftsrichtung *mit derselben Gravitationskraft* völlig verschiedene – geschlossene oder offene – Planetenbahnen zur Folge haben wird. Figur 6 zeigt der Fall, wenn der Planet aufgrund der oben erwähnten Konstellation der Ursprungszustände den Punkt D, der wie der Punkt C vom Gravitationszentrum gleich entfernt ist, *überschreitet*:



Figur 6

Wir können rein intuitiv visualisieren, wie im Verlauf dieses Verfahrens die weiteren Ablenkungen (eF, fG, gH usw.) schrittweise größer werden – wenn der Planet sich dem Gravitationszentrum stets annähert – und folglich eine andere geschlossene oder gegebenenfalls *spiralförmige* Form der Planetenbahn zustande kommt. Ebenso können wir uns intuitiv vorstellen, dass wenn der Planet bei der ersten Ablenkung den Punkt D nicht erreicht, sich daraus *sehr wahrscheinlich* eine offene Kurve ergibt, wie die Figur 7 darstellt:

[20] Dieselbe strukturelle Intuition ermöglicht uns, ohne diese geometrisch-mechanische Demonstration festzustellen, dass sich der Planet in diesem Fall auf einer kreisförmigen Bahn gleichförmig bewegt, oder – in anderen Worten – die lineare Trägheitsbewegung in diesem idealen Fall in eine Rotation übergeht. Wichtig ist hier anzumerken, dass diese Intuition in dieser Weise auf den finalen und irreduziblen geometrisch-mechanischen Formen und ihrer Gesetzmäßigkeit, nämlich der Kreis- und Gleichförmigkeit der Bewegung des Planeten, basiert, wie vorher erörtert wurde.



Figur 7

Diese Übung lehrt uns, wie auch eine geometrisch-mathematische Demonstration notwendigerweise durch ursprüngliche strukturelle Intuitionen der geometrischen und mechanischen Grundformen begleitet werden soll. Wir können zwar aufgrund der ontologischen Finalität und Irreduzibilität des Kreises die Entstehung der vollkommenen Kreisformen intuitiv visualisieren. Aber alle anderen geschlossenen Formen der Planetenbahn – Ellipse, Ovale oder Parabel – lassen sich durch dieses Verfahren unmittelbar intuitiv kaum wahrnehmen. Denn die Konstruktion dieser Formen bedingt die genaue Messung der gravitationellen Ablenkung und der entsprechenden Variation in der planetarischen Bewegung, was uns die bloße Imagination nicht ermöglicht.

Figur 6, die die Darstellung einer visuellen Intuition der dynamischen Struktur der Planetenbewegung ist, erweckt den Anschein, dass die entstehende Kurve zu der Form einer Spirale *tendiert*. Bei den intuitiven Vorstellungen der Planetenbahnen und der Gesetzmäßigkeit der Planetenbewegungen – wie im Fall der Keplerschen Gesetze der Elliptizität der Planetenbahnen und des Flächensatzes der Planetenbewegung – wird von einer vollständigen bzw. *geschlossenen* Form der Planetenbahn, die als existierende Form gegeben ist, ausgegangen, wie vorher erörtert wurde. Aber bei den geometrisch-mathematischen Demonstrationen – des Flächensatzes bei Newton sowie der Beweisführung des Direktproblems bei Bernoulli, nämlich der Ableitung der Form der Planetenbahn aus den gegebenen Prämissen des Inverse-Square Law der Gravitation und der linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten – wird an einer *ursprünglichen* Entwicklung eines kurvigen Fragments gearbeitet, das sich gemäß der mathematischen Gesetzmäßigkeit und ihrer Gewissheit zu geschlossenen oder offenen kurvigen Formen entwickeln *sollte*. Aus jeder Abweichung von diesem mathematisch bestimmten Weg – wie z. B. die Verlangsamung durch die Resistenz eines materiellen Mediums wie Luft – soll eine spiralförmige Form entstehen, wie Newton im 3. Teil des *Principia* eingehend erörtert. Allerdings erweist sich die Überzeugung, dass das kurvige Fragment – der Untersuchungsgegenstand – gemäß der mathematischen Gesetzmäßigkeit unbedingt zu einer bestimmten Form der Planetenbahn entwickeln soll, höchstens als ein Fürwahrhalten, das leider das ursprünglich angestrebte Wissen, nämlich die Allgemeinheit der elliptischen Form der Planetenbahn in ihrer Spezifität, nicht vergewissern konnte. Hierauf sehen wir, wie die strukturelle Intuition das himmelsmechanische Phänomen in seiner Totalität und gegenwärtigen Gegebenheit *auffasst*, wogegen die mathematische Demonstration, die die Gesetzmäßigkeit des Phänomens zu der Allgemeinheit eines Wissens erheben sollte, jene bloße Annahme der *vergangenen* Ursprungszustände und der *zukünftigen* Entwicklungszustände des Phänomens voraussetzt.

Im dritten Teil des *Principia* erörtert Newton die mathematische Gesetzmäßigkeit einer spiralförmigen Planetenbahn, die durch die Resistenz eines den leeren Raum im All füllenden materiellen Mediums (wie Luft) zustande kommen kann. Allerdings ergibt sich aus der Untersuchung von Newton und anderen wie Johann Bernoulli, dass eine spiralförmige Planetenbahn entsteht, wenn die Gravitation sich gemäß dem Inverse-Cube Law ändert. Nun untersuchen wir *erneut* die Allgemeingültigkeit dieses Gesetzes. Das Gravitationsgesetz ist nur eines der verschiedenen *Ursprungszustände*, die die Form der entstehenden Planetenbahn bestimmen, wie vorher erörtert wurde. Wenn wir der in der Figur 5 dargestellten *strukturellen Intuition* folgen, werden wir leicht zur Kenntnis nehmen, dass die Distanz der planetarischen Ablenkung – durch die zentripetale gravitationelle Anziehung – nicht allein durch das Faktum der Intensität der Gravitation, sondern auch durch andere Fakten wie die Planetenmasse, ursprüngliche Planetengeschwindigkeit sowie Entfernung des Planeten von der Sonne bestimmt wird. Diese *anderen* Fakten können die Spezifität des Gravitationsgesetzes – ob die Gravitation zentripetal gemäß eines Gesetzes wie des Inverse-Square oder Inverse-Cube Law oder einfach eines Inverse Law variiert – in dieser Demonstration gewissermaßen *invalideren*. Wenn aus der Konstellation von allen oben erwähnten Ursprungszuständen der Planet, dargestellt in der Figur 5, *zunächst* zu dem Punkt D auf der Linie cc´ abgelenkt wird, wird er weiterhin zu anderen, vom solaren Gravitationszentrum (O) gleich entfernten Punkten (E, F, G usw.) abgelenkt werden, *unabhängig von der Gesetzmäßigkeit der Gravitation*. D. h. wenn der Planet auch unter der Einwirkung der einem Inverse-Cube Law oder Inverse Law unterworfenen Gravitation durch eine kompensierende Wirkung der anderen Ursprungszuständen erstmals zu dem Punkt D abgelenkt wird, soll aus diesem Fall unbedingt eine kreisförmige Planetenbahn entstehen, was wir allein durch diese strukturelle Intuition *entdecken* können. Die Allgemeinheit des Inverse-Cube Law der Gravitation, dass es – unabhängig von den anderen oben erwähnten Ursprungszuständen des Planeten – unbedingt eine spiralförmige Planetenbahn zustande bringt, scheint hier durchaus fragwürdig zu sein. Diese und ähnliche Fälle würden uns aufklären, wie die strukturelle Intuition die hinter den mathematischen Demonstrationen aber auch den allgemein anerkannten axiomatischen Intuitionen in der Wissenschaft der Mechanik *versteckten* Anomalien ins Licht führen kann.

An dieser Stelle stoßen wir auf ein Grundproblem der Epistemologie: Inwieweit ist das Fürwahrhalten in der unmittelbaren Intuition und in der mathematischen Demonstration ein Wissen und keine bloße Vermutung? Der Ausdruck *Fürwahrhalten* als Basis für Meinen, Glauben und Wissen wurde bekanntlich von Immanuel Kant im letzten Teil seiner *Kritik der reinen Vernunft* eingeführt und erörtert. Nach Kant etabliert das Fürwahrhalten epistemologisch und transzendental-philosophisch eine Synthese zwischen Subjekt und Objekt, aus der sich sowohl eine Überzeugung als auch eine Überredung ergeben kann. Gemäß dem *Grad* des Begründetseins im Subjekt und im Objekt erweist sich das Fürwahrhalten als Meinen, Glauben oder Wissen:

„Das Fürwahrhalten ist eine Begebenheit in unserem Verstande, die auf objektiven Gründen beruhen mag, aber auch subjektive Ursachen im Gemüte dessen, der da urteilt, erfordert. Wenn es für jedermann gültig ist, sofern er nur Vernunft hat, so ist der Grund desselben objektiv hinreichend, und das Fürwahrhalten heißt alsdann Überzeugung. Hat es nur in der besonderen Beschaffenheit des Subjekts seinen Grund, so wird es Überredung genannt. […] Das Fürwahrhalten, oder die subjektive Gültigkeit des Urteils, in Beziehung auf die Überzeugung (welche zugleich objektiv gilt), hat folgende drei Stufen: Meinen, Glauben und Wissen. Meinen ist ein mit Bewußtsein sowohl subjektiv, als objektiv unzureichendes Fürwahrhalten. Ist das letztere nur subjektiv zureichend und wird zugleich für objektiv unzureichend gehalten, so heißt es Glauben. Endlich heißt das sowohl subjektiv als auch objektiv zureichende Fürwahrhalten das Wissen. Die subjektive Zulänglichkeit heißt Überzeugung (für mich selbst), die objektive, Gewißheit (für jedermann) “[21]

Nun untersuchen wir zwei bereits erörterte Erkenntnismodi, nämlich die Vermutung, die Newton gegenüber der mathematischen Demonstration herabsetzte, und die Intuition. Wie vorher erörtert wurde, bildet die epistemologische Intuition eine unmittelbare Erkenntnis der

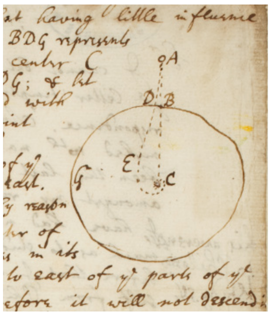
[21] Kant, a.a.O., S. 739-741.

Phänomenalität in ihrer Apriorität und zugleich in ihrer Apodiktizität. Daher lässt sich im Gebiet der Intuition die von Kant vertretene Unterscheidung zwischen der Sphäre des Subjekts und der des Objekts kaum vorstellen. Besonders in der strukturellen Intuition geometrischer und mechanischer Formen – wie einer Linie oder der gleichmäßigen und linearen Trägheitsbewegung – wird zwar bloß subjektiv visualisiert, aber die Gesetzmäßigkeit dieser epistemologischen Visualisierung – im Modus der freiräumlichen Formen – ist unbedingt objektiv, was sich zwischen der apriorischen Vorstellbarkeit und der aposteriorischen Gegebenheit nicht differenzieren lässt, wie wir vorher untersucht haben. Demnach kann eine strukturelle Intuition kein *Halten*, sondern unbedingt ein apodiktisch gewisses Wissen – und zwar ein Wissen der objektiven Phänomenalität – sein. Dagegen erweist sich die Vermutung als eine zugleich objektiv und subjektiv unzureichende *Annahme*. Dennoch können wir eine Vermutung weder mit Meinen noch mit Glauben gleichsetzen, denn sie erlangt keine vergleichbare, sondern nur scheinbare Finalität dieser von Kant bestimmten *unzureichenden* Erkenntnisformen. Beim Meinen und Glauben *könnte* das Subjekt auch vorläufig zufrieden werden – obwohl diese Zufriedenheit im Vergleich zu einem Wissenszustand nie vollkommen ist –, wogegen die Vermutung im Subjekt sehr wahrscheinlich eine Unruhe erzeugt, infolge dessen das Subjekt stets nach der Sicherheit eines intuitiven oder demonstrativen Wissens strebt. Vermutung könnte in dieser Hinsicht eine notwendige Vorstufe eines erkenntnistheoretischen Prozesses sein, der sich zu einem intuitiven Wissen entfaltet.

Ebenso wie Intuition setzt die himmelsmechanische Kognition jene Form der ursprünglichen Vermutungen voraus, denn die kosmologische Phänomenalität lässt sich unmittelbar nicht erfahren. In vielen Fällen scheint das sich um das Erkennen bemühende Subjekt zwischen Vermutung und Intuition zu operieren. Ein treffendes Beispiel – aus der Geschichte der frühneuzeitlichen Himmelsmechanik – wäre die bloß *intuitive* Vorstellung Robert Hookes von der Zusammenwirkung von zentripetaler Sonnengravitation und linearer Trägheitsbewegung der Planeten, woraus – wie Hooke es vorstellte – die elliptische Planetenbahn zustande kommen kann. Diese intuitive Vorstellung wurde in einem Brief von Hooke an Newton vom 24. November 1679 mitgeteilt:

„From my part I shall take it as a great favour if you will let me know your thoughts of that (hypothesis of mine) of compounding the celestial motions of the planets of a direct motion by the tangent & an attractive motion towards a central body.“[22]

In seiner Antwort schien Newton die Vorstellung Hookes in einem Phantasma – „fancy“, wie Newton es bezeichnet – zu behandeln, das allerdings prädestiniert war, sich zu einer der wichtigsten Intuitionen in der Geschichte der Himmelsmechanik zu entwickeln. Newton visualisierte eine spiralförmige Bahn eines zum Erdzentrum fallenden Körpers, indem er neben der Gravitation die tägliche Drehung der Erde berücksichtigte. Rein intuitiv erkannte Newton den Fall, in dem ein Körper unter der Einwirkung von Gravitation einem spiral-förmigen Weg folgt und dadurch schließlich ins Gravitationszentrum fällt, wie es vor allem in seiner Korrespondenz mit Robert Hooke (vom 28. November 1679) zum Ausdruck kam:



Figur 8
(Mit freundlicher Genehmigung vom Wren Library am Trinity College, University of Cambridge)

Diese Newtonsche Intuition war es, die Hooke veranlasste, eine Korrektur dieser Spekulation vorzunehmen und die Form einer elliptischen Spirale vorzuschlagen. Newton nahm diese Korrektur zwar an, aber erweiterte das Hookesche Model anhand seiner irdisch-mechanischen Vorstellungen:

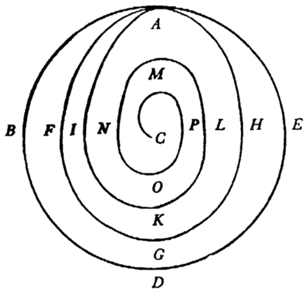


Figure 2: Hooke's diagram from his December 9, 1679 letter to Newton (Correspondence II, 305). The stone falling through the 'sliced' earth orbits center C in the ellipse AFGHA, unless it is impeded by a medium.

Figur 9[23]

[22] Vgl. Newton, The Correspondence II, 297., Vgl. Auch Gal, Ofer: Meanest Foundations and Nobler Superstructures. Hooke, Newton and the "Compounding of the Celestial Motions of the Planets", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002, S. 2.

„Hooke responded, almost as promptly, on December 9. Not only did he like the experiment very much and promised to carry it out – he was, after all, the curator of experiments for the Royal Society – but a note in Newton´s letter allowed him to redirect the discussion to his programme. The diagram which Newton appended to his experimental suggestion (Figure 8, a. d. Verf.) had a little speculative addendum to it, describing the hypothetical notion of the falling stone if it were to continue, resistance-free, through the earth: in this case, suggested Newton, it would fall through the point *E* and spiral around its center *C* a few times, until coming to rest in *C*. This alluded exactly to the point Hooke was trying to make – the compounding of motion along the tangent with attraction to a center – and he was only happy to set Newton right: ‚supposing then ye earth were cast into two half globes in the plane of the equinox and those sides separated at a yard Distance‘(*Correspondence* II, 305), so that the stone could fall through it while still experiencing the attraction towards the center, it would not describe a spiral, but an “Elleptueid” […] Being corrected finally got Newton´s attention. Once again, it took him only four days to receive Hooke´s letter and compose a reply, which was mailed on December 13, 1679 (a. d. Verf.). […] In fact, argues Newton, it is far more reasonable to suppose that the stone would *not* acquire a planetary-like orbit. Thus, he writes, let “gravity be supposed uniform.” Since due to this constant attraction the stone will continually accelerate towards the center *C*, it will be closer to it in the second ‘quarter’ of its orbit, between *F* and *Q* in the enclosed diagram (Figure 3), than in the first, between *A* and *F*. This means that, “by reason of ye longer journey & slower motion,” the stone will spend more time in the first quarter than in the second, and will receive more of the “innumerable and infinitely little motions … continually generated by gravity in its passage” (*Correspondence* II, 308) in the first quarter. Hence it will subject to more ‘inclination downward’ in the first quarter than compensating ‘inclination upward’ in the second.“[24]

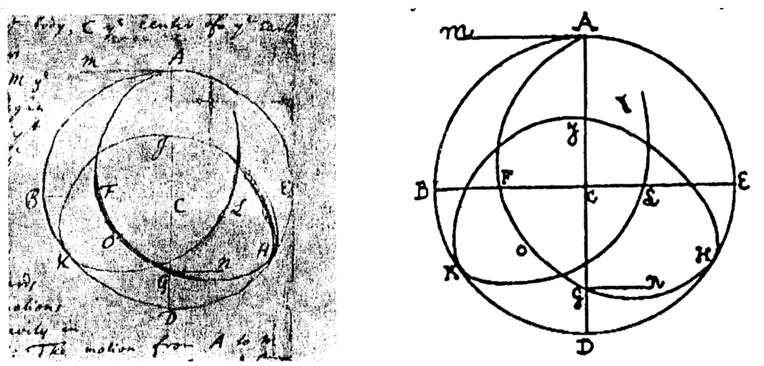


Figure 3: Newton's diagram from his December 13, 1679 letter to Hooke (the original, on the left, from Lohne, "Hooke versus Newton," 27; transcription, on the right, from Pelseneer, 244). The stone falling through the earth from A *along* FOG etc. *changes its apsides with every orbit.*

Figur 10[25]

Was wir diesen ursprünglichen Imaginationen von Hooke und Newton, die später bei Newton zu dem wichtigsten Beweggrund zu der Verfassung von *Principia* wurden, zugunsten unserer Untersuchung entnehmen können, ist eine allgemeine Übereinstimmung, dass die

[23] Gal, a.a.O., S. 6.
[24] Ebd., S. 5-7.
[25] Ebd., S. 7.

Bewegungsbahnen der Körper – zwar in verschiedenen Formen – letztendlich Spiralen bilden. Im Allgemeinen wird behauptet, dass es diese ursprüngliche Vorstellung Hookes von der elliptischen Bahn – im Rahmen der irdischen Mechanik – gewesen ist, die Newton dazu veranlasste, dieses Modell auf die Domäne der Himmelsmechanik zu projizieren und dabei festzustellen, dass die Planetenbahnen unter der Zusammenwirkung der zentripetalen Solargravitation und der linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten und bei der völligen Abwesenheit aller materieller Resistenz (die in der irdischen Mechanik mitberücksichtigt werden soll) als keine spiralförmigen, sondern als geschlossene kurvige Formen – Ellipse oder Kreis – entstehen. Nun fragen wir, ob diese entdeckerischen irdisch-mechanischen Intuitionen von Newton und Hooke dem Wesen nach Intuitionen oder bloße Vermutungen waren. Sie sind zweifelsohne Intuitionen, denn sie werden *strukturell* in enger Resonanz mit der Phänomenalität der irdischen Gravitation, Trägheitsbewegung sowie der medialen Resistenz vorgestellt.[26]

Die Natur der Gravitation

Diese Intuition der elliptischen Bahn von Hooke und Newton konnte aber zu der Keplerschen Vorstellung von elliptischen Planetenbahnen keine zureichende Analogie bilden. Denn es bestanden unterschiedliche oder sogar kontradiktorische Aspekten in den beobachteten und vorgestellten Phänomenen:

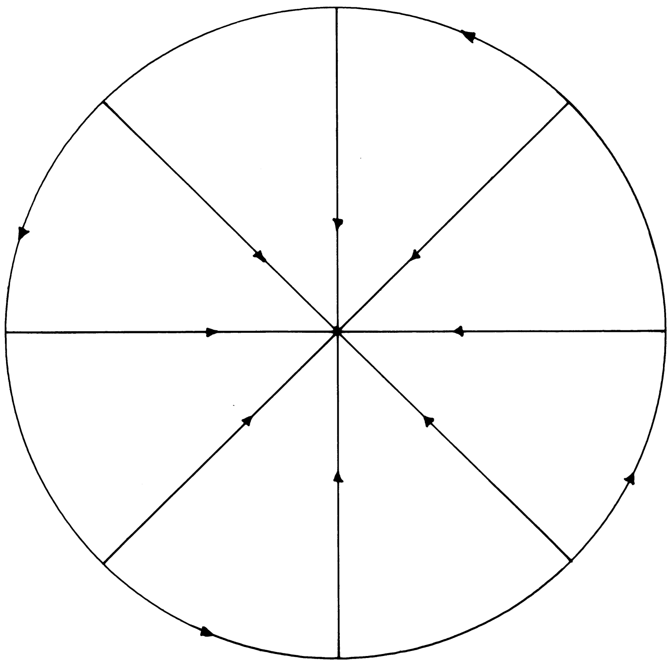
„To make it completely clear that the model of a stone rotating inside a sliced earth was more than an exercise for the imagination, Hooke added a paragraph indicating his awareness of the shortcomings of the analogy between this model and the real planets. Whereas in the case of the planets the attraction increased as the revolving body approached the center, in the model´s case (as with pendulums or balls rolling inside spheres), the attraction increase with distance (*Correspondence* II, 309).“[27]

[26] Auf der ursprünglichen Hookeschen Intuition der Konstellation der zentripetalen Gravitation und der linear-tangentialen Trägheitsbewegungstendenz der Planeten baute Newton insbesondere seine mathematische Demonstration des Keplerschen Flächensatzes auf, indem er neben der von Hooke etablierten Basis drei weitere und grundlegende geometrisch-mathematische Intuitionen, nämlich das Parallelogramm-Gesetz der Kräfte, das Prinzip der Infinitesimalrechnung und den Flächensatz des Dreiecks, in seiner Beweisführung integrierte, wie vorher erörtert wurde. Diesen und ähnlichen Beweisführungen sollen demnach die ursprünglichen bzw. axiomatischen strukturellen Intuitionen der geometrischen und mechanischen Grundphänomene vorausgehen, was eine methodische Ordnung von ursprünglichen einfachen Intuitionen zu synthetisch-kompositorischen geometrisch-mathematischen Demonstrationen bestätigt. Diese Ordnung setzt auch die epistemologische Vorrangigkeit der Intuition vor der deduktiven Demonstration voraus.

[27] Gal, a.a.O., S. 9-10.

Darüber hinaus fehlt ein wichtiges Merkmal der planetarischen Bewegung in elliptischen Bahnen, das Kepler erhebliche Schwierigkeiten bereitete, und das scheinbar in den oben erörterten Analogien von Newton und Hooke kaum berücksichtigt wurde, nämlich die Beschleunigung des Planeten am sonnennächsten Punkt (Perihel), wodurch sich der Planet wiederholt vor der Fortbewegung auf einer spiralförmiger Bahn und dem eventuellen Absturz im Sonnenzentrum *rettet*. Nur die erste Intuition Newtons, nämlich den spiralförmigen Weg des Körpers zum Erdzentrum, scheint eine progressive Beschleunigung des Körpers zur Schau zu stellen. Aber dies erklärt die wiederholte Beschleunigung des Planeten am Perihel (seiner elliptischen Bahn) nicht. Bei allen anderen – oben dargestellten – Fällen kommt die Rückkehr des Körpers zur Nähe des Erdzentrums aufgrund seiner Verlangsamung an einem vom Erdzentrum entfernten Punkt (ähnlich wie Aphel der elliptischen Bahn) zustande.

Zwei grundlegende Annahmen in seiner *neuen* Astronomie, nämlich die Elliptizität der Planetenbahnen und der Flächensatz der Planetenbewegungen (die bis heute als Keplersche Gesetze bekannt sind) wurden von Newton zugunsten seiner mathematischen Demonstration dieser Gesetze in *Principia* als bloße Vermutungen betrachtet oder sogar getadelt. Kepler konnte diese Gesetze zwar nur intuitiv entwickeln, aber der Newtonschen Überzeugung von der Apodiktizität seiner geometrisch-mathematischen Demonstrationen schien auch ein subtiler aber lange tradierter Glaube an den Vorrang der Mathematik vor anderen Raumwissenschaften – Mechanik und Optik – zugrunde zu liegen. Eine historische Rekonstruktion der mechanischen Intuition in der Frühneuzeit wäre eine schwierige Unternehmung, denn die Wissenschaftler geben kaum preis, was sich alles in ihrem Geist bloß intuitiv abgespielt hat, bevor sie die intuitive Vorstellung einer Erkenntnis *sprachlich* postulieren. Dagegen lässt sich die *Konstruktion* der geometrisch-mathematischen Demonstrationen, wie sie in einem Werk wie *Principia* dargestellt sind, leicht zur Kenntnis nehmen. Wir könnten an manchen *begleitenden* Grundannahmen die Natur der möglichen Intuition ablesen. Eine solche Annahme Keplers in Bezug auf seinen geometrisch-mechanischen Beweis des Flächensatzes war die Variation der Planetengeschwindigkeit in inverser Proportion der Entfernung des Planeten vom Sonnenzentrum – eine Annahme, die sich in Wirklichkeit als falsch erweist. Diese Annahme schien aus einem ursprünglichen mechanischen Zustand der Planetenbewegung – gemäß der Kopernikanischen Astronomie, wovon Kepler am Anfang völlig überzeugt war – abgeleitet zu werden. Denn für jeden Wissenschaftler der frühneuzeitlichen Astronomie schien es eine leichte Erkenntnis zu sein, wie aus der dynamischen Struktur des Kopernikanischen Models unmittelbar wahrzunehmen ist, dass der gleichförmigen Planetenbewegung in perfekten Kreisbahnen ein bloß geometrisch-mechanischer Flächensatz zugrunde liegt. Ebenso wie die lineare Trägheitsbewegung im Newtonschen Model, in dem ein Himmelskörper in seiner Trägheitsbewegung mit einem externen Zentrum gleiche dreieckige Flächen in gleichen Intervallen durchstreicht, streicht ein Planet in gleichförmigen Kreisbewegung gleiche Sektoren in gleichen Intervallen durch, wie Figur 11 zeigt:



Figur 11

Der Vorteil dieser Prämisse wäre, dass wir hierauf von einer annähernd analogen *existierenden* Form der Planetenbewegung, nämlich der zirkularen Trägheitsbewegung – im Vergleich zu der linearen Trägheitsbewegung bei Newton, der nur ein fiktiver Ursprungszustand sein kann – ausgehen. Wie vorher erörtert wurde, bekämpfte Kepler lange die beobachteten Abweichungen der Planetenbahn von der perfekten Kreisform und die der Planetenbewegung von einer gleichförmigen zirkularen Bewegung, bis er, von den empirischen Beobachtungen von Tycho Brache ableitend, die Elliptizität der Planetenbahn sowie die Exzentrizität der Sonnenposition (auf einem der beiden Fokusse der Ellipse) annahm. Eine dritte und unmittelbar an dieser Annahme anschließende Intuition war die periodische Variation der Planetengeschwindigkeit zwischen dem Perihel und dem Aphel, die auch durch die von Brache überlieferten empirischen Daten bestätigt wurde. Demnach schien die intuitive Vorstellung von der Variation der Planetengeschwindigkeit in umgekehrter

Proportion zu der Distanz des Planeten vom Sonnenzentrum bzw. einem der beiden Fokusse der elliptischen Bahn *in Übereinstimmung* mit den beobachteten Abweichungen von dem ursprünglichen Kopernikanischen Model zu sein, nämlich vom Kreis zur Ellipse, die ein *gestreckter* Kreis ist, und der Verschiebung der Sonne vom Kreiszentrum zu einem der Fokusse der elliptischen Bahn. Eine derartige Annahme, die wiederum eine Vermutung zu sein scheint, konnte wohl durch die Tatsache unterstützt zu werden, dass Kepler seine Gesetze der Variation der Planetengeschwindigkeit auf elliptischer Bahn letztendlich als Prämisse für die geometrisch-mathematische Beweisführung seines Flächensatzes gebrauchte. Kepler wurde getadelt, dass er seinen Flächensatz aus einer falschen Prämisse ableitete,[28] aber diese falsche Annahme schien es ihm zu ermöglichen, den Flächensatz ursprünglich *intuitiv* vorzustellen. Außerdem wurde bei Kepler bekanntlich stets der Versuch unternommen, dem himmelsmechanischen Phänomen der Planetenbewegung auch in seinem veränderten Zustand, nämlich in der Elliptizität der Planetenbahn und der periodischen Variation der Planetengeschwindigkeit, *erneut* geometrische Formhaftigkeit und mechanische Gesetzmäßigkeit zu verleihen.

Aber die im Allgemeinen vielgepriesenen mathematischen Demonstrationen – bei Newton, Keil und Bernoulli – lieferten keine zureichende Lösung für die *Spezifität* der Keplerschen Gesetze, nämlich der Elliptizität der Planetenbahn und des *elliptischen* Flächensatzes der Planetenbewegung. Sie konnten nur beweisen, dass sowohl der Flächensatz als auch die Kraftkonstellation – von der Trägheitsbewegungstendenz der Planeten und der dem Inverse-Square Law unterworfenen Universalgravitation – für jede Form einer kurvigen Planetenbahn gültig ist, wie wir vorher erörtert haben. Dass die Ellipse eine der geschlossenen kurvigen Formen ist, kann die Keplerschen Gesetze der Elliptizität und des Flächensatzes der Planetenbahn und -bewegung kaum hinreichend begründen. Die „Mathematiker“ schienen in der Wissenschaft der Mechanik aus einer bloßen Überzeugung von der Gewissheit der geometrisch-mathematischen Begründungen manche Möglichkeiten sowie die problematischen Aspekte der himmelsmechanischen Phänomene, die primär in einer mechanisch-strukturellen Intuition auftauchen würden, leicht zu übersehen. Ebenso wie die geometrisch-mathematische Ableitung des Kreises, der Ellipse, Parabel oder Hyperbel als Form der Planetenbahn aus dem Inverse-Square Law der Gravitation konnte Newton (im 3. Teil des *Principia*) und andere Wissenschaftler wie Johann Bernoulli mathematisch demonstrieren, dass die spiralförmigen Planetenbahnen entstehen, wenn die Gravitation sich

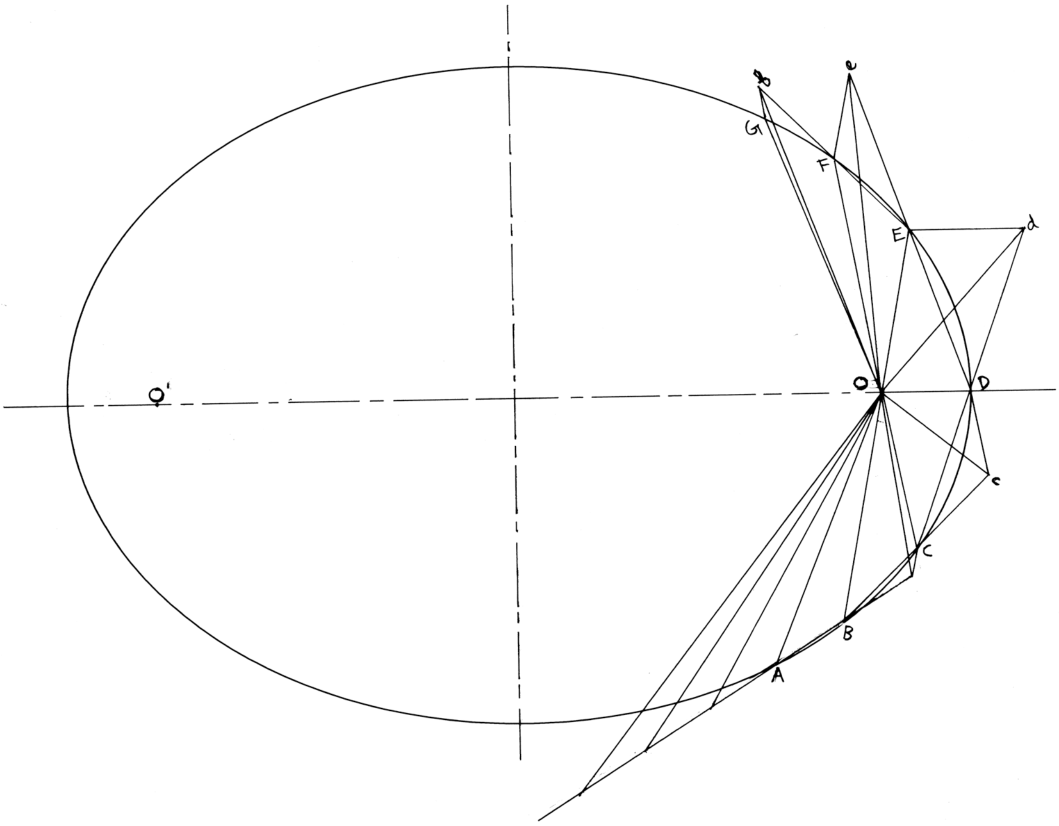
[28] Vgl. Westfall, a.a.O., S. 8-9.

gemäß einem Inverse-Square Law variiert. Aber die endgültige Form der Planetenbahn, wenn wir der Methode Newtons folgen, entsteht nicht nur aus dem Faktum der bestimmten Gesetzmäßigkeit der Gravitation, sondern auch aus anderen Ursprungszuständen, wie der Masse der Planeten, der ursprünglichen Geschwindigkeit der Trägheitsbewegung der Planeten sowie der Ankunftsorientierung des Planeten. Diese Ursprungszustände können dazu führen, dass der Planet gemäß der Newtonschen geometrisch-mathematischen Demonstration des Flächensatzes sukzessiv dieselbe Ablenkung (von der linearen Trägheitsbewegung) haben und folglich eine vollkommene Kreisbahn und gleichförmige Kreisbewegung des Planeten zustande bringen, unabhängig davon, ob die Gravitationskraft einem Inverse-Square Law, einem Inverse-Cube Law oder einfach einem Inverse Law unterworfen ist, wie oben erörtert wurde.[29] Diese Erkenntnis ist offensichtlich das Ergebnis einer strukturellen Intuition, in der in erster Linie von den rein mechanischen Kraft- und Bewegungsstrukturen ausgegangen wird. Sie wird auch begleitet durch eine andere Intuition, dass ein Planet, wenn er bei der ersten Ablenkung von der Trägheitsbewegung den vom Gravitationszentrum gleich entfernten Punkt (Punkt D in Figur 5) erreicht, weiter zu anderen gleich entfernten Punkten (E, F, G usw. in Figur 5) sukzessiv abgelenkt wird – unabhängig von der Gesetzmäßigkeit der zentripetalen Variation der Gravitationskraft – und folglich eine perfekte kreisförmige Bahn und gleichförmige Bewegung des Planeten auf dieser Bahn zustande bringt. Diese Intuition basiert des Weiteren auf der ontologischen Finalität der geometrischen und mechanischen Grundformen, die in der entstehenden Formhaftigkeit der Planetenbewegung in Erscheinung treten, wie wir vorher erörtert haben.

Ein zweites Faktum der elliptischen (aber auch parabolischen oder hyperbolischen) Planetenbewegung, das Newton anscheinend durch seine Überzeugung von der geometrisch-mathematischen Formhaftigkeit und Gesetzmäßigkeit der himmelsmechanischen Phänomene zu ignorieren schien, ist die rätselhafte *Flucht* des Planeten am Perihel, in der der Planet durch eine Beschleunigung eine Annäherungstendenz zum Gravitationszentrum wiederholt überwindet und sich in seiner Fortbewegung auf einer elliptischen Bahn von der Sonne entfernt (und dabei verlangsamt). Dass der Planet sich wiederholt am Perihel von einem gravitationellen Absturz in der Sonne *rettet*, lässt sich bloß intuitiv vorstellen. Und gerade diese unvermeidliche Intuition war es, die Kepler lange – auch durch mysteriöse Annahmen – zu begründen suchte. Versuchen wir zunächst diese Problematik in einem etablierten Newtonschen Model darzustellen, indem wir bei der geometrisch-mathematischen

[29] Vgl. auch Figur 5.

Beweisführung des Flächensatzes von der elliptischen Planetenbahn, die eine in Wirklichkeit gegebene existierende Form ist, ausgehen:



Figur 12

Figur 12 stellt das Newtonsche Verfahren des Flächensatzes der planetarischen Bewegung auf einer *gegebenen elliptischen Bahn* dar. Der geometrischen Form der Ellipse entsprechend, soll eine deutliche Variation in der planetarischen Bewegung am Perihel (Punkt D) stattfinden. Bis D nähert sich der Planet der Sonne an, und ab D entfernt er sich von der Sonne (wie es von der elliptischen Bahn bestimmt wird). Demgemäß wird die gravitationelle Ablenkung zum Sonnenzentrum bei der ersten Phase der Annäherung immer größer – am Perihel D erweist sie sich als die größte Ablenkung – aber bei der Entfernung vom Perihel weniger. Dieses Phänomen lässt sich ohne dieses geometrische Verfahren bloß intuitiv erkennen, indem wir die rein kontinuierliche und kurvige Bewegung des Planeten auf dem Teil der Ellipse ABCDEFG aus der Zusammenwirkung von zentripetaler Gravitation und linear-tangentialer Trägheitsbewegungstendenz bloß vorstellen.

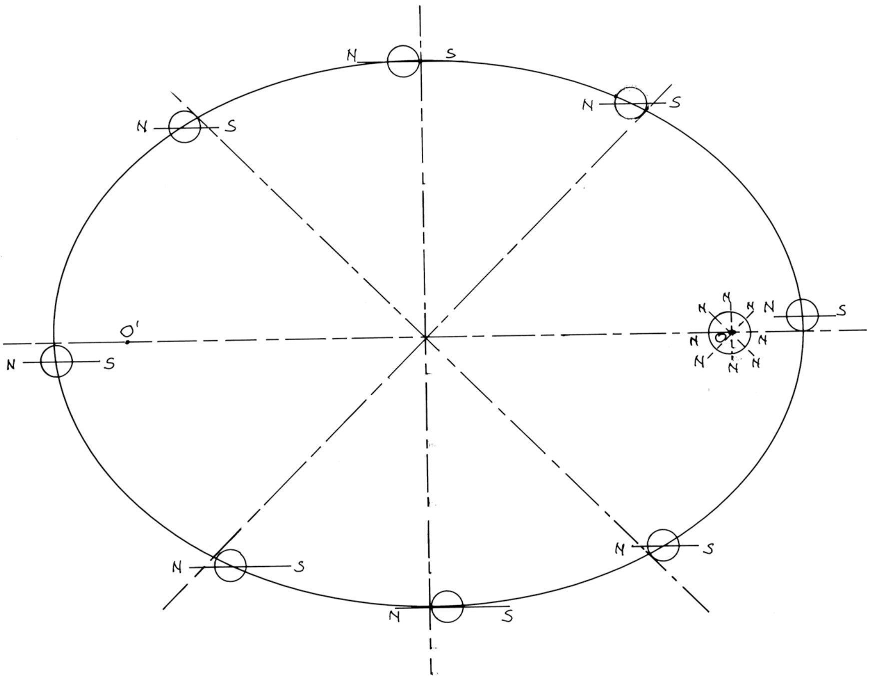
Aber gerade in einer derartigen dynamisch-strukturellen Intuition, die nicht auf einer geometrisch-mathematischen Messbarkeit, sondern allein auf einer grundlegenden Korrelation der Mechanik mit der Geometrie basiert (wie vorher erörtert wurde), scheint uns unbegreiflich zu sein, warum bzw. aus welcher *Ursache* der Planet, der sich bis zum Perihel unter der Wirkung der zentripetalen Gravitation der Sonne nähert, weiterhin diese Tendenz nicht behält bzw. sich der Sonne auf einer spiralförmigen Bahn nicht nähert, sondern sich von der Sonne auf einer elliptischen Bahn entfernt? Die einzige Ursache dafür in diesem geometrisch-mathematischen Model kann die höhere Geschwindigkeit des Planeten am Perihel sein, die als Resultante der zusammenwirkenden Gravitation und Trägheit zustande kommt, und die *anscheinend* den Planeten am Perihel vor seiner Fortbewegung auf einer spiralförmigen Bahn und dem sich daraus ergebenden Absturz im Sonnenzentrum wiederholt *rettet*, und ihn auf einer *sicheren* elliptischen Bahn behält. Aber diese *notwendige* Imagination in dynamischen Strukturen widerspricht den Prinzipien der Mechanischen Philosophie, zu der auch die Newtonschen Gesetze unbedingt gehören, und nach der die Planeten den mechanischen Gesetzen unterworfen sind. Im Rahmen der frühneuzeitlichen Mechanischen Philosophie kann es kaum begründet werden, warum die Gravitation, die *strukturell* zentripetal ist und in allen Richtungen um ein Zentrum gleich wirkt, und die aus einer *ursprünglichen* Trägheitsbewegung eines Planeten sowohl seine kurvige Annäherung zum Perihel als auch seine Beschleunigung verursacht, ihn am Perihel *erlaubt*, durch dieselbe Beschleunigung wiederholt von dem Gravitationszentrum zu entfernen und auf einer elliptischen Bahn zu bewegen. Bei näherer Betrachtung widerspricht dieses Phänomen dem Newtonschen Trägheitsgesetz selbst, nach dem eine ursprünglich lineare Trägheitsbewegung eines Körpers unter einer ständig wirkenden Kraft wie Gravitation ebenso ständig *in der Richtung* der Kraft tendieren soll.

Diese mechanische Ungereimtheit bekämpfte Kepler entscheidend in seiner intuitiven Vorstellung der elliptischen Planetenbewegung, obwohl er sie nicht aus der Zusammenwirkung der Newtonschen Prämissen, nämlich der Gravitation und der Trägheitsbewegungstendenz, ableitete. Dabei neigte Kepler, dem Planeten eine mysteriöse *animalische* Eigenkraft zuzuschreiben und sich allerdings dieser problematischen Annahme stets entgegenzusetzen.[30] Schließlich versuchte Kepler, die periodische Annäherung der Planeten an die Sonne auf seinem Weg vom Aphel zum Perihel und die mysteriöse Entfernung des Planeten von der Sonne – auf seinem Weg vom Perihel zum Aphel der elliptischen Bahn – durch eine Wechselwirkung der irdisch-gravitationellen Anziehung und Abstoßung gegenüber einer *unipolaren* Gravitationskraft der Sonne zu erklären. Dabei ging Kepler von der Annahme der Bipolarität der Erdgravitation aus – eine Idee, die in klarer

[30] Koyre, a.a.O., S. 215-217.

Analogie zu der Bipolarität des Erdmagnetismus, dargestellt in dem Hauptwerk *De Magnete* von Gilbert (von dem Kepler beeinflusst war), vorgestellt wurde:

„Meanwhile one problem in his celestial dynamics remained to be unresolved. What causes a planet's distance from the sun to vary? Kepler's pursuit of the issue led him ever further from the circular orbit. The astronomical tradition presented an obvious answer to the variation of distance – an epicycle turning on the basis of deferent. It is testimony to the power that the tradition of circles exercised over Kepler that he attempted initially to explain the variation by an epicycle. An epicyclic mechanism affronted his sense of physical reality, however. A planet would need intelligence to turn on an epicycle around a moving point not occupied by a body. When he returned to the consideration of Mars, he discovered that when he used an ellipse to approximate the orbit, which he now assumed to be oval, the radius vector varied in length according to a uniform sine function. The uniform variation suggested a purely physical action which required no supervisory intelligence. The mechanism of epicycles could be rejected at last, once and for all. He perceived it, Kepler said, "as one aroused from sleep who gazed with astonishment on a new light." Kepler ultimately decided that a magnetic action from the sun attracts a planet during half of its orbit while one pole is presented."[31]



Figur 13

Figur 13[32] stellt ungefähr die Keplersche Vorstellung der Wechselwirkung der Anziehung und Abstoßung zwischen der Sonne und dem Planeten dar, wodurch der Planet in seiner elliptischen Bahn erhalten bleibt. Eine wichtige Voraussetzung für diese Intuition ist das

[31] Westfall, a.a.O., S. 11.

[32] Diese Darstellung ist eine leichte Modifikation des Models in dem Werk von Westfall mit einer kreisförmigen Planetenbahn (vgl. Westfall, a.a.O., S. 10). Die Keplersche „Lösung“ bezieht sich unbedingt auf eine elliptische Planetenbahn. In einer Kreisbahn taucht das Problem der Variation der planetarischen Entfernung von der Sonne nicht auf.

beobachtete Faktum der Schräge der Erdachse zu der Ebene, auf der sich die Sonne und die Planeten befinden. Diese Schräge der Erdachse, durch die die Jahreszeiten auf der Erde in regelmäßiger Sukzession zustande kommen, verursacht nach Kepler auch die Wechselwirkung von gravitationeller Anziehung und Abstoßung zwischen der Sonne und der Erde sowie den anderen Planeten. Allerdings betrachtete Kepler die Richtungskonstanz der Planetenachse auf der elliptischen Bahn, die letztendlich die Wechselwirkung von Anziehung und Abstoßung zwischen der Sonne und den Planeten veranlasst, als ein residuales bzw. dieser Analogie zwischen den Planeten und dem bipolaren Magnet übrig bleibendes Problem. Kepler neigte charakteristisch dazu, dieses Problem, das er mechanisch nicht bewältigen konnte, wiederum *animistisch* zu erklären:

„...the body of the Sun is circularly magnetic and it rotates in its place, and thereby causes the sphere of its force to rotate with it; this sphere of force does not attract, but has the power of promoting motion. On the other hand, the bodies of the planets [are not in themselves endowed with motivity, but] are inclined to remain at rest in whatever part of the Universe they are placed. Consequently, in order that they should be moved by the Sun a constraining force is needed, whence it follows that those which are more remote from the Sun are pushed more slowly, and those which are nearer are pushed more rapidly, that is to say, the eccentric moves uniformly with respect to the equant point. On the other hand, every planetary body must be regarded as being magnetic, or *quasi*-magnetic; in fact, I suggest a similarity, and do not declare an identity. It must be assumed also that the line [axis] of this force [*quasi*-magnetic for the planets] is a straight line having two poles, one retreating from the Sun, the other pursuing it. This axis, through an animal force, is [constantly] directed approximately towards the same parts of the Universe. As a result, the planet, carried along by the Sun, turns towards the Sun, first its retreating [repelling] pole, then its pursuing [attracting] pole. As a consequence we have the increase and decrease in libration. I cannot conceive any other means [of producing it]. For both in retreating from, and approaching, [the Sun, the planet] does so according to the measure of the angle which the line [drawn] from the Sun to the centre of the body [of the planet] makes with the axis [of the planet], and this *ceteris paribus*. This is what I have previously said in the geometrical hypothesis: it is attested by observation, that the planet performs librations, and particularly that during libration it moves slowly in the vicinity of the apsides of the epicycle, and more quickly in the mean positions; whereas in its *raptus* round the Sun, it moves slowest at aphelion, the quickest at perihelion. Furthermore, the superior semi-diameter of the libration is traversed in a longer time than the equal inferior semi-diameter; for the magnetic force of the planet itself acts also less strongly when the planet is remote from the Sun; this is exactly what happens in the case of magnets.“[33]

Aber die Mechanik der täglichen Drehung des Planeten *würde* die Richtungskonstanz der Planetenachse bei ihrer elliptischen Bewegung hinreichend erklären, wenn wir diese Keplersche Intuition erweitern. Die Aufrechterhaltung der Schrägheit und Richtung der Planetenachse durch die – dieser Achse perpendikulären – Drehung ist einem gewöhnlichen

[33] Ebd., S. 252-253.

irdischen Phänomen analog, nämlich einem bewegenden Fahrrad, das dessen *Vertikalität* auf der Straße gegenüber der Gravitation allein durch die Rotation der Räder aufrechterhält und sich dabei von einem gravitationellen *seitlichen* Absturz hält. Kepler schien allerdings durch eine derartige Begründung kaum zufrieden zu sein, und neigte demnach wiederum zu einer animistischen Begründung:

„The planet, like all magnets, would then have two poles; one of which would draw it towards the Sun, and the other would repel it. Nor would there be any need, as in the previous ‚example', for the planet to rotate; it would suffice for its axis to maintain a constant direction, as is the case with the Earth's axis. This maintenance of the direction of the planet's magnetic axis could be ascribed just as well to a natural power of the magnet; we know that there are two forces in a magnet - one ‚directing' (or repelling), the other ‚attracting'. It would suffice, therefore, to suppose that the ‚directing' forces of the planets are much more powerful than their ‚attracting' forces so that the latter are unable to modify the position of the axes to any appreciable extent. This task could be entrusted also to ‚animal' forces. Under these conditions, the planet during its passage round the Sun would present first one pole, and then the other, to the Sun, and would approach, as well as move away from it. The objection that the Sun, being a simple body, ought to function in one way only, could be overcome by supposing it to be ‚neutral' like a piece of unmagnetized iron, and by ascribing the difference in behavior to the dual nature of the poles of the planet."[34]

Hierauf merken wir einen klaren Unterschied in der Art der Überzeugung zwischen der mechanisch-intuitiven Methode Keplers und der mathematisch-demonstrativen Methode Newtons. Während Kepler bei seiner Untersuchung der himmelsmechanischen Phänomene vorzüglich von mechanischen Prämissen ausgeht und jene mechanische Ungereimtheit, die darin auftaucht, wieder durch eine mechanische Intuition zu bewältigen versucht, und bei allen diesen Vorgängen Geometrie als ein Unterstützungssystem anwendet, geht Newton bei seiner mathematischen Demonstration der Keplerschen Gesetze vorzüglich von geometrisch-mathematischen Prämissen aus – wie wir in Bezug auf seine mathematischen Demonstrationen des Keplerschen Flächensatzes erörtert habe – und anscheinend wegen einer absoluten Überzeugung von der Gewissheit der mathematischen Deduktion diese und ähnliche residualen bzw. dem wirklichen Himmelsphänomen übrigbleibenden *mechanischen* Ungereimtheiten übersieht oder strategisch ignoriert.

[34] Ebd., S. 257-258. Vgl. auch Westfall, Richard S.: The Construction of Modern Science, Cambridge 1977, S. 10-11. Hier ist wichtig anzumerken, dass Westfall bei seiner Erörterung des Keplerschen Modells der polaren Anziehung und Abstoßung zwischen Sonne und Planeten die Sonne – im Unterschied zu der oben zitierten Betrachtung Koyrés – nicht als magnetisch-neutral darstellt. Die Sonne wird als ein besonderer Magnet vorgestellt, in dem ein Pol auf der Oberfläche des Magnets bzw. der Sonne ausgebreitet ist, und der andere Pol sich im Zentrum der Sonne befindet.

Dass Newton *tendenziell* von geometrisch-mathematischen Prämissen auszugehen neigt, obwohl nur mechanische Prämissen *gegeben* sind, verdeutlicht sein Lösungsversuch des von Halley gestellten Problems, über das bis heute unter Wissenschaftlern diskutiert wird.[35] Die von Halley gegebenen Prämissen, nämlich die linear-tangentiale Trägheitsbewegung und die Variation der zentripetalen Gravitation gemäß dem Inverse-Square Law, sind ursprünglich rein mechanische Vorstellungen (obwohl sie sich leicht geometrisch darstellen lassen), aber Newton geht in seinem Lösungsversuch von einer geometrischen Prämisse aus, nämlich der elliptischen Formhaftigkeit der Planetenbahn, und *behauptet*, dass die Umkehrung dieses Verfahrens das von Halley gestellte Direktproblem hinreichend lösen wird. Daraus, dass Newton im Vergleich zu Keil oder Bernoulli das von Halley gestellte Direktproblem nicht geometrisch-mathematisch lösen konnte, können wir aber nicht schließen, dass Newton – im Vergleich zu anderen Wissenschaftlern der Mechanik wie Descartes, Kepler, Hooke oder Bernoulli – zu angemessenen mechanisch-strukturellen Intuitionen kaum fähig war. Vielmehr scheint sein Lösungsversuch eines Inverse-Problem durch seine charakteristische Neigung zu mathematischen Demonstrationen und seine Überzeugung von ihrer Wahrhaftigkeit, Gewissheit und Allgemeingültigkeit erklärt zu werden.

Allerdings konnten Keil und Bernoulli aus den gegebenen Prämissen der Trägheitsbewegungstendenz des Planeten und der Gravitation nur eine *allgemeine* mathematische Formel entwickeln, die für jede kurvige Form eines Kegelschnitts gültig ist. Außer der Form des Kreises, der eine geometrische Grenzform ist und sich als solche als einheitlich erweist, entstehen die anderen Formen – Ellipse, Parabel oder Hyperbel – in zahllosen förmlichen Variationen. Die Spezifität der elliptischen Planetenbahn, die erste Antwort Newtons auf Halleys Frage, scheint demnach von zusätzlichen mechanischen Fakten bestimmt zu werden. Wie vorher erörtert wurde, ergänzte die geometrisch-mathematische Demonstration des Flächensatzes bei Newton den Lösungsversuch von Keil und Bernoulli. Diese geometrisch-mathematischen Lösungen genügen insoweit, dass sie garantieren, dass die *existierende* Elliptizität aus den Gleichungen als eine der verschiedenen Formmöglichkeiten der Planetenbahn abgeleitet werden kann. Daher können wir die Lösungsversuche dieser Wissenschaftler der frühneuzeitlichen Mechanik für unangemessene Untersuchungen halten. Auch die Wissenschaft der Mathematik, die hierauf das deduktiv-epistemologische Instrumentarium bildete, lieferte damals angeblich die richtigen Lösungen. Nun zeigt sie

[35] Während die Wissenschaftshistoriker des 20. Jahrhunderts wie Cohen, Gandt und vor allem Lohne den Newtonschen Lösungsversuch eher kritisch betrachten, findet es bei Westfall Anerkennung. Vgl. Westfall, a.a.O. S. 150-151.

dabei ihre Grenzen. Hier scheint der einseitige Glaube daran, dass die Mathematik alleine die Komplexität der mechanischen Phänomene endgültig lösen bzw. auf sichere und universale Formeln reduzieren kann, zu scheitern.

Bekannterweise ist es Newton nicht gelungen, die Ursache der von ihm postulierten Universalgravitation und ihrer Wirkung in großen Entfernungen zu erklären. Aber die Grenzen der Mathematisierung dieses im Grunde mechanischen Phänomens treten viel deutlicher in seinen vergeblichen Unternehmungen, die wahre Natur bzw. den ontischen *Zustand* der Gravitation festzustellen, zutage. Dass die vorrangig geometrisch-mathematische Vorstellung von Gravitation im Newtonschen System letztendlich den Anschein einer okkulten Kraft erweckte, liegt auch darin, dass die Mathematisierung zu den rein *existentiellen* Auffassungen dieses mechanischen Phänomens kaum hinreichend beiträgt, obwohl sie uns ihre gesetzmäßige Begründung ermöglicht. (Eine geometrische Linie *ist* kein solides und *existierendes* Objekt; ebenso erweist sich ein *geometrischer* Vektor nur als eine Repräsentation der Kraft. Allerdings bleibt die phänomenale Existenz der mechanischen Kräfte ein Rätsel). Die Mathematisierung der Gravitation geriet bereits in der frühen Neuzeit mit der herrschenden Mechanischen Philosophie in Widerspruch. Demnach markierten die vollkommen mathematischen Erklärungen dieser und ähnlicher Phänomene in Newtons *Principia* offensichtlich eine *mathematische Wende* in der frühneuzeitlichen Mechanik, die sich trotz aller Auseinandersetzungen historisch durchsetzte und sich im Einsteinschen Relativitätsprinzip, in dem die Gravitation *primär* als ein geometrisches Phänomen festgestellt wurde, zur Blüte entfaltete.

Die Überzeugung von der mathematischen Grundstruktur und Gesetzmäßigkeit des Universums, die die frühneuzeitliche Mechanik beherrschte, war streng genommen kein Wissen, das nach Kant die vollkommene Adäquatheit der subjektiven Vorstellung und der objektiven Phänomenalität und ihre wechselseitige Übereinstimmung voraussetzte; sie war vielmehr einem Glauben nahe. Und gerade dieser Glaube, der bis heute tradiert wird, schienen manche wichtigen mechanischen Prämissen in der frühneuzeitlichen Himmelsmechanik zu verschleiern. Eine davon ist zweifelsohne die von Kepler rein intuitiv vorgestellte und zu den Grundlagen der Struktur der elliptischen Planetenbahn hinzugefügte Wirkung der *gravitationellen Repulsion*. Bereits zur Zeit Keplers und Newtons war die Bipolarität der Erde, in der sie einem Magnet ähnelt, eine allgemein anerkannte Tatsache. Die Erde als bipolarer Magnet wurde von William Gilbert vorgestellt und in seinem im Jahr 1600 erschienenen Hauptwerk *De Magnete* eingehend erörtert. Bei zahlreichen Seefahrten im 16. und in 17. Jahrhundert wurden der Magnetismus der Erde und seine Bipolarität durch das Kompass-Prinzip stets empirisch bestätigt. Daher lässt sich schwer nachvollziehen, warum das Faktum der gravitationellen Repulsion der Himmelskörper – der Planeten und der Sonne –, das von Kepler in seinem Lösungsversuch der Elliptizität der Planetenbahn mit einbezogen wurde, bei den Newtonschen Untersuchungen, in denen die gravitationelle Wirkung in himmelsmechanischen Strukturen nachgewiesen und mathematisch begründet werden sollten, keine Resonanz fand. Die schon damals entdeckte Tatsache, dass die magnetischen Pole mit den geographischen Polen der Erde nicht genau übereinstimmen, und demnach die magnetische Achse zu der Ebene der Bewegungen der Erde und Planeten im Vergleich zu der geographischen Achse eine geringere Schrägheit hat, kann das Faktum der Repulsion kaum entkräften. Denn die Anziehung der solaren und planetarischen Gravitation ist ein räumliches Phänomen. Aufgrund der sich ständig ändernden Konstellationen der Himmelskörper kann kaum eine ständige Wechselwirkung von Anziehung und Abstoßung zwischen den bipolaren magnetischen (oder gravitationellen) *Feldern* im All zustande kommen. Der nur auf Eisen wirkende und dem Inverse-Cube Law unterworfene Magnetismus lässt sich zwar mit Gravitation kaum gleichsetzen, diese Differenz belegt aber nicht, dass das Feld des Magnetismus und das der Gravitation eine völlig verschiedene Natur und Struktur haben. Die Ähnlichkeit zwischen magnetischen und gravitationellen Feldern deutet darauf hin, dass im Rahmen der himmelsmechanischen Gravitation das Faktum der gravitationellen Repulsion nicht auszuschließen ist. Aus den folgenden *möglichen* Gründen hätte die auch von Kepler vorgestellte gravitationelle Repulsion bei Newton keine entscheidende Resonanz gefunden:

1. Die Vorstellung von gravitationeller Repulsion ist gerade dem Newtonschen Gesetz der Gravitation, in dem alle Körper im All einander anziehen, entgegengesetzt.
2. Die gravitationelle Repulsion würde der axiomatischen Vorstellung von Universalgravitation, die sich nach Newton grenzenlos ausdehnt, völlig widersprechen. Denn die Repulsion setzt prinzipiell jener *Einzelgravitation* Grenzen, durch die die Himmelskörper gegeneinander abstoßen würden.[36]
3. Die Einbeziehung des Faktums der gravitationellen Repulsion würde die geometrische Mathematisierung der Gravitation, die bei Newton – in seinem *Principia* – eine

[36] Dieser Aspekt der Repulsion wird deutlich im Magnetismus bestätigt. Wenn wir die gleichen Pole von zwei Magneten einander näher bringen, *erfahren* wir die *rein mechanische* Repulsion, indem wir unmittelbar fühlen, wie die uns unsichtbaren *Grenzen* der gleich-polaren magnetischen Felder aufeinander gleiten – wie wenn wir zwei glatte materielle Oberflächen miteinander rückten und dabei gleiten ließen. Diese Erfahrung ist nicht optisch, sondern bloß haptisch und bestätigt dadurch die mechanische Phänomenalität der magnetischen Felder.

grundlegende Strategie ist, und die ebenso geometrisch-mathematische Demonstration der Gesetzmäßigkeit der gravitationellen Wirkungen in himmelsmechanischen Phänomenen (wie den Flächensatz der Planetenbewegung, Inverse-Square Law der gravitationellen *Anziehung* sowie die Phänomenalität der Universalgravitation) von vornherein erschweren.

Zusammenfassung

Die strukturelle Intuition als ein epistemologisches Instrumentarium würde tendenziell die geometrisch-mathematische Formhaftigkeit der mechanischen Axiome abbauen und jene axiomatische Letztbegründung in der Wissenschaft der Mechanik auf ihre bloß phänomenale Basis *intuitiv* zurückversetzen. In anderen Worten: bei mechanisch-strukturellen Intuitionen wird die geometrisch-mathematische Finalität der mechanischen Axiome, die ihre Phänomenalität sowohl auf der Wirkungs- als auch auf der Ursachenebene verursacht, zu einer *phänomenal-ontologischen Finalität* depotenziert. Dasselbe Prinzip gilt für andere mathematische Wissenschaften der Frühneuzeit wie Optik. Bei einer derartigen Depotenzierung – oder Entschleierung – wird die bloße Gegebenheit der mathematisch-axiomatischen Erkenntnisse auf ihre epistemologisch intuitive Prozessualität zurückgeführt. Die Dynamik des ursprünglichen Anschauungsmodus, worauf die strukturelle Intuition aufbaut, soll daher die Starrheit des mathematisch-axiomatischen Darstellungsmodus der mechanischen Grundvorstellungen überwinden. Während sich die Mathematisierung oder mathematische Demonstration nur auf die Wirkungsebene oder auf bloße Wirklichkeit der mechanischen Grundphänomene – wie Trägheit oder Gravitation – beziehen kann, wird bei der mechanisch-strukturellen Intuition die Wirklichkeit der mechanischen Phänomene mit ihrer Ursächlichkeit zusammengedacht bzw. intuitiv zu visualisieren versucht, obwohl sich die ontologische Ursächlichkeit mancher (oben erwähnter) mechanischer Phänomena als Aporie erweist. Dies trägt offensichtlich zu einer epistemologischen Angemessenheit bei, was die strukturelle Intuition bekräftigt, die bei der geometrisch-mathematischen Axiomatisierung übersehenen, marginalisierten oder sogar paradigmatisch unterdrückten wissenschaftlichen Prämissen wiederzuentdecken, sie erneut zu problematisieren und daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Bibliographie

Brackenridge, Bruce J.: *The Key to Newton's Dynamics*, University of California Press, Berkeley 1995.

Cohen, Bernard: *Kepler's Century*, aus: Kepler. Four Hundred Years, hrsg. von Arthur Beer und Peter Beer, Oxford 1975.

Gandt, François de: *Force and Geometry in Newton's Principia*, Princeton University Press, New Jersey 1995.

Gal, Ofer: *Meanest Foundations and Nobler Superstructures*. Hooke, Newton and the "Compounding of the Celestial Motions of the Planets", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002.

Kant, Immanuel: *Kritik der reinen Vernunft*, hrsg. von Raymund Schmidt, Hamburg 1990.

Kemp, Martin: *Visualizations*. The nature book of art and science, Oxford 2000.

Kemp, Martin: *Wissen in Bildern*. Intuitionen in Kunst und Wissenschaft, aus: *Iconic Turn. Die Neue Macht der Bilder*, hrsg. von Christa Maar und Hubert Burda, Köln 2004.

Koyré, Alexander: *The Astronomical Revolution*. Copernicus – Kepler – Borelli, übersetzt von Dr. R. E. W. Maddison F. S. A., Paris 1973.

Lohne, Johannes: *Hooke versus Newton*, in Centaurus (vol. 7), Kopenhagen 1960.

Newton, Isaac, Sir: *The Principia*. Mathematical Principles of Natural Philosophy, translated by I. Bernard Cohen and Anne Whitman, University of California Press, Berkeley 1999.

Ohly, Sibylle: *Johann Bernoullis Mechanische Arbeiten 1690 bis 1713*, Augsburg 2004.

Westfall, Richard S.: *The Construction of Modern Science*, Cambridge University Press, Cambridge 1977.